

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YALIN ÜRETİM YAKLAŞIMI İLE BEYAZ EŞYA ÜRETİM SÜRECİNDE
YENİDEN TASARIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsa Emre GÜL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YALIN ÜRETİM YAKLAŞIMI İLE BEYAZ EŞYA ÜRETİM SÜRECİNDE
YENİDEN TASARIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İsa Emre GÜL
(507211112)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Seda YANIK ÖZBAY

HAZİRAN 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**REDESIGN IN THE WHITE GOODS PRODUCTION PROCESS WITH LEAN
MANUFACTURING APPROACH**



M.Sc. THESIS

**İsa Eme GÜL
(507211112)**

Department of Industrial Engineering

Industrial Engineering Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Seda YANIK ÖZBAY

JUNE 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 507211112 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İsa Emre GÜL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YALIN ÜRETİM YAKLAŞIMI İLE BEYAZ EŞYA ÜRETİM SÜRECİNDE YENİDEN TASARIM ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Seda YANIK ÖZBAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Emre ÇEVİKCAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gül Tekin TEMUR
Bahçeşehir Üniversitesi

Teslim Tarihi : 22 Mayıs 2025
Savunma Tarihi : 17 Haziran 2025





Aileme ve arkadaşlarıma,



ÖNSÖZ

Yoğun bir şekilde geçen eğitim döneminden sonra yaptığım bu çalışma süresince benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen başta ailem, arkadaşlarım ve tez danışmanım Doç. Dr. Seda YANIK ÖZBAY olmak üzere herkese teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Haziran 2025

İsa Emre Gül
Makine Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. YALIN ÜRETİM	29
3.1 Yalın Üretimin Tarihi	29
3.2 Yalın Üretim Teknikleri	30
3.2.1 Kaizen	30
3.2.2 Neden etki diyagramları	30
3.2.3 Hata modu etki analizi (FMEA)	31
3.2.4 Poka-yoke	31
3.2.5 SMED	31
3.2.6 Kanban	32
3.3 JIT	32
3.4 Üretimde İsraf	32
3.5 Stok	33
3.6 Sürekli İyileştirme	35
3.6.1 Altı sigma	36
3.6.2 Kurumsal karne	36
3.7 Ergonomi Analizi Yaklaşımları	36
3.7.1 RULA	36
3.7.2 QEC	37
3.7.3 REBA	38
3.7.4 OWAS	41
3.7.5 EAWS	42
4. ÖNERİLEN TASARIMDA KULLANILAN METODOLOJİ	45
4.1 Diyagramlar ve Haritalamalar	46
4.1.1 Akış şeması	46
4.1.2 Spaghetti diyagramı	47
4.1.3 VSM	47
4.2 MTM-UAS Zaman Çalışması	48
4.3 EAWS Ergonomi Analizi Çalışması	52
4.4 5S	59
4.4.1 Ayıklama	60

4.4.2 Düzenleme.....	60
4.4.3 Temizlik	60
4.4.4 Standardizasyon	60
4.4.5 Disiplin.....	60
4.5 Takt Zamanı.....	60
4.6 OEE	61
4.7 Çalışan Verimliliği Hesaplaması.....	61
5. UYGULAMA.....	63
5.1 Fabrika Hakkında Genel Bilgiler.....	63
5.2 Çalışmanın Amacı	63
5.3 İç Kapı	63
5.4 Kapı Döküm Süreci	65
5.5 İç Kapı Üretim Alanı	66
5.6 Taşıma Araçları	67
5.7 İç Kapı Üretim Alanı Çalışan Planlaması	68
5.8 İç Kapı Delik Delme Pozisyonları.....	68
5.9 İç Kapı Üretim Alanı Akış Şeması.....	71
5.10 İç Kapı Üretim Alanı Spaghetti Diyagramı.....	72
5.11 İç kapı Üretim Alanı Değer Akışı Haritalama Kartı	73
5.12 MTM Analizi.....	75
5.13 Ergonomi Analizi	80
5.14 Çalışma Sonrası İç Kapı Üretim Alanı	85
5.14.1 Çalışma sonrası çalışan planlaması	85
5.14.2 Çalışma sonrası iç kapı üretim alanı spaghetti diyagramı	86
5.14.3 Çalışma sonrası iş talimatları	88
5.14.4 Çalışma sonrası iç kapı üretim alanı akışı	91
5.14.5 Çalışma sonrası iç kapı üretim alanı değer akışı haritalama kartı.....	92
5.15 5S Uygulamaları.....	93
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
6.1 İş Gücü Verimliliği Kazancı.....	99
6.2 Çalışan Maliyeti Kazancı	100
6.3 Akış Sebebiyle Ara Stokların Ortadan Kalkması.....	101
6.4 Hatalı Üretim Düşüşü	101
6.5 OEE Artışı	102
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	115

KISALTMALAR

MTM	: Methods Time Measurement
EUR	: Euro
USD	: United States Dollar
TMU	: Time Measurement Unit
MOST	: Maynard Operation Sequence Technique
FMEA	: Failure Mode and Effects Analysis
TPS	: Toyota Production System
SMED	: Single Minute Exchange of Die
VSM	: Value Stream Mapping
SVSM	: Simulated Value Stream Mapping
MODAPTS	: Modular Arrangement of Predetermined Time Standards
REFA	: Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung
GSD	: General Sewing Data
POT	: Process Operation Time
OEE	: Overall Equipment Effectiveness
KPI	: Key Performance Indicator
MAS	: Motion Analysis System
JIT	: Just in Time
MTM -UAS	: Methods Time Measurement- Universal Analyzing System
QEC	: Quick Exposure Check
OWAS	: Ovako Working posture Assessment System
EAWS	: Ergonomic Assessment Worksheet
REBA	: Rapid Entire Body Assessment
BAUA	: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
RULA	: Rapid Upper Limb Assessment
RPN	: Risk Priority Number
SLP	: Systematic Layout Planning



SEMBOLLER

t : Zaman





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yalın üretim literatür incelemesi.	5
Çizelge 2.2 : 5S literatür incelemesi.	9
Çizelge 2.3 : Zaman çalışması literatür incelemesi.	15
Çizelge 2.4 : Ergonomi analizi literatür incelemesi.	22
Çizelge 3.1 : Manuel stok tutma maliyetleri çizelgesi (Azzi ve diğ.,2012).	34
Çizelge 3.2 : RULA yöntemine göre alınacak aksiyonlar (Bhardwaj ve diğ.,2017).	37
Çizelge 3.3 : QEC puan matrisi (Washington Devlet İş ve Sanayi Kurumu, t.y.). ...	38
Çizelge 3.4 : QEC değerlendirme çizelgesi (Bhardwaj ve diğ., 2017).	38
Çizelge 3.5 : REBA A çizelgesi (Yetim, 2015).	39
Çizelge 3.6 : REBA B çizelgesi (Yetim, 2015).	40
Çizelge 3.7 : REBA C çizelgesi (Yetim, 2015).	40
Çizelge 3.8 : REBA risk değerlendirme çizelgesi (Yetim, 2015).	40
Çizelge 3.9 : OWAS risk kategorileri (Özkaya ve diğ., 2018).	41
Çizelge 4.1 : VSM veri kartı.	48
Çizelge 4.2 : MTM – UAS zaman birimleri (MTM Association e. V., 2019).	49
Çizelge 4.3 : MTM – UAS hareket mesafeleri (MTM Association e. V., 2019).	49
Çizelge 4.4 : MTM – UAS alma ve yerleştirme zamanları (MTM Association e. V., 2019).	50
Çizelge 4.5 : MTM – UAS yerleştirme zamanları (MTM Association e. V., 2019).	50
Çizelge 4.6 : MTM – UAS alet alma zamanları (MTM Association e. V., 2019). ...	51
Çizelge 4.7 : MTM – UAS hareket çevrimleri zamanları (MTM Association e. V., 2019).	51
Çizelge 4.8 : MTM – UAS çalıştırma zamanları (MTM Association e. V., 2019). ..	52
Çizelge 4.9 : MTM – UAS vücut hareketleri zamanları (MTM Association e. V., 2019).	52
Çizelge 5.1 : Çalışma öncesi iç kapı alanı çalışan planlaması.	68
Çizelge 5.2 : Üretilen modellere açılan delik sayıları.	69
Çizelge 5.3 : İç kapı üretim alanı çalışma öncesi VSM veri kartı.	74
Çizelge 5.4 : Soğutucu iç kapı delik delme MTM analizi.	76
Çizelge 5.5 : Dondurucu iç kapı delik delme MTM analizi.	77
Çizelge 5.6 : Dengeleme sonrası soğutucu iç kapı delik delme MTM analizi.	78
Çizelge 5.7 : Dengeleme sonrası dondurucu iç kapı delik delme MTM analizi.	79
Çizelge 5.8 : İç kapı üretim alanı ilk ve son durum çalışan planlaması.	85
Çizelge 5.9 : Operatörler için mesafe karşılaştırması.	87
Çizelge 5.10 : Delik delme çalışanları için mesafe karşılaştırması.	88
Çizelge 5.11 : İç kapı üretim alanı çalışma sonrası VSM veri kartı.	92
Çizelge 6.1 : Özet sayısal kazanç çizelgesi.	104



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : MTM yöntemleri ve seçim kriterleri (Çakmakçı ve Karasu, 2007).	14
Şekil 2.2 : Maliyetlerin hastalık türlerine göre dağılımları (Niu, 2010).	17
Şekil 2.3 : EAWS dijitalleştirme çalışması (Fischer ve diğ.,2023).	19
Şekil 2.4 : Örnek akış diyagramı (Seyrek ve diğ., 2022).	25
Şekil 2.5 : Üretimde hazırlanan spaghetti diyagramı örneği (Dabrowska ve Maciejewska, 2022).	26
Şekil 3.1 : Yalın üretim teknikleri (Palange ve Dhattrak, 2021).	30
Şekil 3.2 : Balık kılçığı diyagramı (Carvalho ve diğ., 2021).	31
Şekil 3.3 : REBA değerlendirme sayfası (Özcan, 2021).	39
Şekil 3.4 : OWAS sırt duruş çeşitleri (Ramadhani ve diğ.,2018).	41
Şekil 3.5 : OWAS kol duruş çeşitleri (Ramadhani ve diğ.,2018).	41
Şekil 3.6 : OWAS bacak duruş çeşitleri (Ramadhani ve diğ.,2018).	42
Şekil 3.7 : EAWS yapısı 1. ve 2. Sayfası (Schaub ve Bruder, 2012).	42
Şekil 3.8 : EAWS yapısı 3. ve 4. Sayfası (Schaub ve Bruder, 2012).	42
Şekil 3.9 : EAWS değerlendirme bölümü (Schaub ve Bruder, 2012).	43
Şekil 4.1 : Metodolojide izlenecek olan adımlar.	45
Şekil 4.2 : Akış diyagramı sembolleri (Çalışkan ve Arpacıoğlu, 2024).	46
Şekil 4.3 : EAWS uygulaması açılış ekranı.	53
Şekil 4.4 : EAWS uygulamasında bacak pozisyonu seçimi.	53
Şekil 4.5 : EAWS uygulamasında bacak pozisyonu seçimi.	54
Şekil 4.6 : EAWS uygulamasında vücut eğilmesi seçimi.	54
Şekil 4.7 : EAWS uygulamasında vücut asimetrisi seçimi.	55
Şekil 4.8 : EAWS uygulamasında vücut eğimi seçimi.	55
Şekil 4.9 : EAWS uygulamasında kol uzaklığı seçimi.	56
Şekil 4.10 : EAWS uygulamasında kol pozisyonu seçimi.	56
Şekil 4.11 : EAWS uygulamasında kavrama modu seçimi.	57
Şekil 4.12 : EAWS uygulamasında parmak kuvveti eklemesi.	57
Şekil 4.13 : EAWS uygulamasında kol kuvveti eklemesi.	58
Şekil 4.14 : EAWS uygulamasında eklem pozisyonu eklemesi.	58
Şekil 4.15 : EAWS uygulamasında elleçleme eklemesi.	59
Şekil 4.16 : EAWS uygulamasında elleçleme eklemesi – 2.	59
Şekil 5.1 : Dondurucu iç kapı.	64
Şekil 5.2 : Soğutucu iç kapı.	64
Şekil 5.3 : Soğutucu iç kapı kısımları.	65
Şekil 5.4 : İç kapı üretim alanı yerleşim planı.	66
Şekil 5.5 : Fabrika içi iç kapı taşıma araçları.	67
Şekil 5.6 : Soğutucu iç kapıda delik açılan noktalar.	70
Şekil 5.7 : Dondurucu iç kapıda delik açılan noktalar.	70
Şekil 5.8 : Çalışanların delik delme prosesi.	70
Şekil 5.9 : İç kapı üretim alanı çalışma öncesi akış şeması.	71
Şekil 5.10 : İç kapı üretim alanı çalışma öncesi Spaghetti diyagramı.	72

Şekil 5.11 : Çalışanların makine başı konumlanması ve iç kapıların makine çıkışı yerleşimi.....	75
Şekil 5.12 : EAWS uygulaması başlık ekranı.....	81
Şekil 5.13 : EAWS uygulaması soğutucu delik delme çalışanı analizi.	82
Şekil 5.14 : EAWS uygulaması dondurucu delik delme çalışanı analizi.....	83
Şekil 5.15 : EAWS uygulaması ergonomi analizi sonuçları.....	84
Şekil 5.16 : EAWS uygulaması soğutucu delik delme çalışanı ergonomi analizi detayları.....	84
Şekil 5.17 : EAWS uygulaması dondurucu delik delme çalışanı ergonomi analizi detayları.....	84
Şekil 5.18 : Spaghetti diyagramı karşılaştırması: (a) Çalışma öncesi. (b) Çalışma sonrası.	86
Şekil 5.19 : Soğutucu delik delme çalışanı iş talimatları.	89
Şekil 5.20 : Dondurucu delik delme çalışanı iş talimatları.	90
Şekil 5.21 : Akış şeması karşılaştırması: (a) Çalışma öncesi. (b) Çalışma sonrası. ..	91
Şekil 5.22 : Alanda hurda olacak iç kapılar ve düzensizce atılmış iç kapılar.....	93
Şekil 5.23 : Rastgele yerleştirilen iç kapılar.	94
Şekil 5.24 : Yerlere dizilen iç kapılar.	94
Şekil 5.25 : Yeni kullanılacak ilave iç kapı taşıma araçları.	95
Şekil 5.26 : İç kapı üretim alanının temiz olmayan görüntüsü.	96
Şekil 5.27 : İç kapı üretim alanının temiz görüntüsü.	96
Şekil 5.28 : İç kapı üretim alanının temiz görüntüsü.	97

YALIN ÜRETİM YAKLAŞIMI İLE BEYAZ EŞYA ÜRETİM SÜRECİNDE YENİDEN TASARIM

ÖZET

Yalın üretim Amerika’da ortaya çıkan, Japonya’da geliştirilen, üretimde israfları ortadan kaldırmayı hedefleyen ve çeşitli yöntemler içeren bir üretim sistemidir. Bu yönteme göre müşterinin para vermeyi kabul etmeyeceği ve nihai ürüne katma değer sağlamayacak olan her türlü süreç ortadan kaldırılmalıdır. Firmalar da yalın üretim mantığını benimseyerek, ticari olarak varlıklarını ve tercih edilebilirliklerini devam ettirmek için maliyetlerini azaltmak amacıyla bu mantığın gelişmesini sağlayan yöntemleri kullanmaktadır. Bu çalışma kapsamında da bir buzdolabı fabrikasının iç kapı üretimi alanındaki akış incelenmiştir. Bu çalışma sayesinde yalın üretim mantığındaki yedi israftan olan hatalı üretim, fazla stok ve gereksiz taşıma azaltılarak çalışma alanı iyileştirilmiştir. Çalışmayı yaparken spaghetti diyagramı, akış şeması ve değer akışı haritalama gibi yöntemler kullanılarak mevcut durum incelenmiştir. Belirtilen diyagramlardaki potansiyel gelişim noktaları belirlenmiş ve bu noktalarda iyileştirme yapmak için gerekli olan yöntemler literatürde araştırılmıştır.

Geliştirilen yeni çalışma sürecinde çalışanların görev sürelerini hesaplamak için metod zaman ölçümü evrensel analiz sistemi (MTM-UAS) yöntemi kullanılmıştır. MTM-UAS yöntemi ile yapılan ilk analiz sonucunda, yeni çalışma yönteminin proses zamanı, üretim makinesinin çevrim zamanının içerisinde kalmaması sebebiyle çalışanların görev dağılımları yeniden incelenmiş ve yapılan ikinci analiz sonucunda çevrim zamanına göre görev dağılımları yapılmıştır. Çalışanların ilerleyen zamanlarda yeni iş talimatları sebebiyle kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları yaşamaması için çalışanların EAWS Digital programı ile analizleri yapılmış ve yeni görev dağılımlarının ergonomik açıdan uygunluğu teyit edilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda hurda oranlarında ve iç kapının üretiminde kullanılan çalışma saatinde azalma meydana gelmiş, çalışma alanının çalışan verimliliği artırılmıştır. Şirket, alandaki çalışan sayısını vardiya başına 1 kişi ve günlük 3 kişi azaltarak çalışan maliyetlerinde 46.038 Avro tasarruf sağlamıştır. Öte yandan, sahada çalışan 23 kişiden 3’ünün süreçten eksilmesi nedeniyle, iç kapı üretim alanının verimlilik değeri verimlilik ölçümlerinde %15 artış göstermiştir. Benzer şekilde, fabrikada çalışan 1432 çalışandan 3’ünün eksilmesi nedeniyle, genel verimlilikte %0,21’lik bir iyileştirme sağlandı. Akışın basitleştirilmesi ve hataların erken tespiti sonucunda iç kapı üretim alanındaki hurda oranlarında %7’den %4’e düşüş gözlemlenmiş ve hurda maliyetlerinde azalma yaşanmıştır. Hurda maliyetleri hesaplanırken plastiğin geri dönüştürülebilirliği de dikkate alınmış ve 30,772.45 Avro kazanç elde edilmiştir. Üretim sürecinde meydana gelen yalınlaşmayı da daha iyi inceleyebilmek için yine akış diyagramı ve spaghetti diyagramı kullanılmıştır. Ayrıca yalın üretim mantığı çerçevesinde 5S yöntemini kullanarak iç kapı üretim alanında tertip düzen ve temizliği sağlamak amacıyla görülen uygunsuzluklar tespit edilmiş ve bu uygunsuzluklar için çözümler geliştirilmiştir.



REDESIGN IN THE WHITE GOODS PRODUCTION PROCESS WITH LEAN MANUFACTURING APPROACH

SUMMARY

Lean production is a philosophy of a manufacturing method that is frequently used worldwide. According to this method, any process that the customer would not be willing to pay for and that does not add value to the final product should be eliminated. Companies also adopt the lean production philosophy and use lean production methods to reduce their costs in order to maintain their commercial existence and preference in their sectors. In the philosophy of lean production, there are seven types of waste known as the seven wastes, which are transportation, waiting time, overproduction, defective production, inventory, motion, and overprocessing. Eliminating these wastes will contribute to the profitability of companies. In this study, we will work to reduce these wastes and ensure that the production area approaches lean production philosophy.

The aim of this study is to contribute to the annual productivity target of the refrigerator factory by improving the flow in the inner door production area. The flow of this area will be examined, and processes identified as contrary to the lean manufacturing principles will be eliminated, thereby increasing the availability of employees during their cycle time and reducing the number of workers to achieve efficiency. With this study, in addition to improving efficiency, it is aimed to reduce the scrap rate in the production of inner doors by simplifying the flow. By reducing the scrap rates for inner doors, another form of waste will be eliminated. In addition to the efforts to eliminate the mentioned wastes, points that are contrary to the 5S method in the production area will be identified, and the improvements will be proposed for each impropriety to 5S method. The aim is to improve the relevant area in terms of 5S as well and maintain the order.

The inner door material subject to the study is the plastic part, generally white in colour, located on the inner side of refrigerator doors, where the door shelves are assembled. These parts are shaped using a mold after undergoing a pre-heating process in the inner door production area. The name of the production process is called as thermoforming.

The inner doors produced in the manufacturing area are then subjected to a process called door foaming on the assembly line. In this process, a substance called polyurethane is filled between the door sheet metal and the inner door to provide insulation and durability for the door. To ensure that the protrusion called "nail" and "dike" on the inner door are completely filled with polyurethane and to allow the air trapped between the inner door and the door sheet to be expelled, a drilling process is applied in the production area after thermoforming process. If the protrusions are not filled with polyurethane, durability of the nails decreases, and it may cause the drop of the shelf of the doors and injury for the customers. Thus, the drilling process is essential for the inner door production.

In order to examine the current flow in the inner door production area, three methods have been applied. First of all, a flowchart of the inner door production area was drawn. The flowchart of the area has been prepared from the plastic roll loaded on the machine to its readiness for door foaming on the assembly line. Another flow determination method used was the spaghetti diagram. The movements of employees in the production area were examined using a spaghetti diagram over the layout plan. Also, value stream mapping data card has been prepared for the area.

Thanks to these three diagrams, processes that could be considered waste in the inner door production area have been identified, and within the scope of the study, the improvement of these points has been planned. In the study, attention was paid to layout and operation sequences to plan for increased efficiency and reduced scrap rate. A target work plan was created for the areas identified for improvement using flowcharts spaghetti diagrams and value stream mapping data card.

Two methods called MTM-UAS and EAWS were used to determine the suitability of this work plan. A method time study was conducted to check whether the process times of the workers in the new work plan to be implemented are in accordance with the cycle time of the thermoforming production machine. When we examined the method time techniques in the literature, it was determined that the most commonly used method in production is the MTM method, and therefore, the MTM-UAS method was used for this control.

When the MTM-UAS analysis was performed according to the first task distribution, the total duration of the new tasks of the fridge hole drilling worker was calculated to be more than the cycle time of the thermoforming machine. Therefore, some of the tasks of the fridge hole drilling worker were transferred to the freezer hole drilling worker and a new MTM-UAS analysis was performed. According to the new analysis result, both stations were arranged to be shorter than the cycle time of the thermoforming machine. Thus, it was determined that the new task distribution was appropriate in terms of time.

In ergonomics studies, methods that evaluate ergonomics in terms of posture and weights to assess the loads and risks on employees' bodies were examined. When we examined the articles in the literature, we found that industrial organizations generally use the EAWS method. Therefore, the EAWS Digital application, which employs the EAWS method, was used in this study. In order to perform ergonomic analysis, the necessary body postures, forces, and handling types were examined as a result of observations in production trials and the necessary measurements were made. After these parameters were entered into the EAWS Digital application for each task, an ergonomic score was created for both stations. With the green output received from the system for both stations, it was observed that the system was suitable for ergonomic operation.

At the end of this study, the flow chart and spaghetti diagram have been drawn again. The number of the steps in the flow chart reduced from 15 to 11 in the second flow chart of the inner door production area and number of handlings of the inner doors during the process has been reduced from two to one. Thanks to the flow simplification, the availability of the workers has increased and the number of employees in the inner door production area has been reduced. With the reduction in the number of employees, improvements have been achieved both in the company's employee costs and in productivity measurements. By reducing the number of workers

in the area by 1 person per shift and 3 people daily, the company achieved a savings of 46,038 Euros in employee costs.

On the other hand, since 3 out of the 23 people working in the area were reduced, the efficiency value of the inner door production area was improved to 15% in the efficiency measurements. Similarly, since 3 out of the 1432 employees working in the factory were reduced, an overall productivity improvement of 0.21% was achieved in the factory.

As mentioned in the material and method section, as a result of simplifying the flow and the visual check point location change, visual errors can be detected early and a decrease from 7% to 4% in scrap rates was observed in the inner door production area, so a reduction in scrap costs was experienced. When calculating scrap costs, the recyclability of the plastic material was taken into account, resulting in a gain of 30,772.45 Euros. There were inner door inventories equal to one shift production amount in the production area. Thanks to new flow the non-drilled inventories which value 5,964 Euros have been cancelled, and this financial resource was made available to the company. After the reduction of the scrap rate after the early detection of the errors on the inner doors, overall equipment efficiency increased from 87% to 89.8% in the production area.

To summarize the work done, the philosophy of lean production is an important approach for companies to increase their profits today. The adoption of this philosophy and the elimination of waste within this method are greatly aided by the use of flowcharts, spaghetti diagrams and value stream mapping as three very useful visualization tools. The use of these tools not only allows for the easy identification of points where waste occurs but also makes the dimensions of improvements more comprehensible when compared to the diagrams and charts drawn in the new situation. Additionally, by valuing employees, it should be ensured that they can comfortably work within the cycle time through time studies, and it is necessary to eliminate the risk of future problems related to musculoskeletal health through ergonomic analysis. Eliminating these wastes can both increase workplace productivity and reduce scrap rates.



1. GİRİŞ

Günümüz şartlarında firmalar rekabetçi olmak ve hayatta kalabilmek amacıyla sürekli iyileştirme felsefelerini kullanmaktadırlar. Bu sürekli iyileştirme felsefesinin birçok yöntemi ve bu yöntemlerin de çeşitli teknikleri firmalar tarafından tercih edilmektedir. Bu yöntemler ile israfı ve maliyetleri azaltıp kaliteyi artırmayı başaran şirketler genelde pazarlarında öne çıkmışlardır. Bu maliyetleri azaltmanın en önemli yollarından birisi de çalışan verimliliğinin sağlanması, gereksiz olan hareketlerin tespit edilip ortadan kaldırılması ve gereksiz stok miktarının azaltılmasıdır. Günümüzde artan rekabetler sonucunda firmalar, çalışan sayısını azaltarak işçilik maliyetlerini düşürmeye çalışmaktadırlar. Ayrıca stoklarını azaltarak finansal kaynaklarının kullanılabilirliğini sağlayıp, olası değişiklik veya problem durumunda stokların kullanılamaması ile yaşanabilecek olan kayıpların da önüne geçmektedirler.

Çalışmada ilk olarak literatür taraması ile çalışmada kullanılacak olan yöntemlerin literatürde nasıl kullanıldığını ve nasıl çalışmalar yapıldığını inceleyeceğiz. Hem kullanacağımız yöntemler hem de literatürdeki diğer yöntemler karşılaştırılacak ve çalışmamız için en uygun olan yöntemler belirlenerek çalışmanın devamında bu yöntemler ile devam edilecektir. İkinci olarak da tez çalışmasının temelinde olan yalın üretim ile ilgili temel bilgiler ve yöntemlerin detayları da yalın üretim başlığı altında incelenecektir.

Bir diğer başlık olarak önerilen tasarımda kullanılan metodoloji başlığında, çalışma boyunca izlenecek olan yol haritası, çalışma boyunca kullanılacak olan analiz yöntemleri, çalışma durumunu görselleştirme araçları, yalın üretimi iyileştirmek için diğer araçların detaylı bilgilendirmeleri ve sonuçların değerlendirilmesi kısmında kullanacağımız olan bazı anahtar performans göstergelerinin (KPI) nasıl hesaplandığı ile ilgili detaylı formüller paylaşılacaktır.

Bu çalışmada kapsamında bir buzdolabı üretim tesisinin iç kapı üretim alanı incelenecektir. Bu iç kapı üretim alanının ilk önce mevcut durumu incelenecek ve bu mevcut durum üzerinden potansiyeli olan, geliştirmeye açık noktalar belirlenerek israf

olarak nitelendirilebilecek hareketleri ve adımları ortadan kaldırmaya odaklanılacaktır. Bu noktaları belirlemek için çalışma öncesi durumun değer akışı haritalaması (VSM), akış diyagramı ve spaghetti diyagramları oluşturuldu. Bu diyagramlar birlikte incelenerek israflar belirlendikten sonra hedeflenen ideal çalışma düzeni belirlenmiş ve bu yeni çalışma düzeninin uygunluğu konusunda çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışma düzenlerinin uygunluğunun kontrol edilmesi için temelde 2 adet yöntem kullanılmıştır. Bunlar metod zaman ölçümü evrensel analiz sistemi (MTM-UAS) ve ergonomik değerlendirme çalışma sayfası (EAWS) yöntemidir. MTM-UAS yöntemi, sıkça kullanılan bir zaman etüdü yöntemidir ve bu yöntem ile çalışanların yaptıkları işlerin yaklaşık olarak ne kadar süre alacağı hesaplanabilmektedir. Bu yöntem ile biz de çalışmamızda belirlemiş olduğumuz yeni çalışma düzeninde çalışanlara verilmiş olan yeni görevlerin, onların ne kadar zamanını alacağını ve makine ile senkronize çalışma durumunda çalışanların, makinenin çevrim zamanına uygun bir şekilde çalışıp çalışmayacaklarının kontrolünü sağlayacağız.

İkinci olarak EAWS yöntemi ile üretim tesislerinde çalışanların sıkça yaşadığı kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının önüne geçmek amacıyla ergonomi analizi gerçekleştirildi. Çalışanların yaptıkları işler, vücut duruşları, vücut açıları ve kuvvetler EAWS Digital isimli bilgisayar programı yardımıyla analiz edilerek yeni çalışma düzeninin ergonomik uygunluğu kontrol edilmiştir.

Bu yöntemler dışında yalın üretim yöntemlerinden biri olan 5S yöntemine aykırı olarak noktalar belirlenmiş ve bu noktaların düzeltilmesi için aksiyonlar alınmıştır. Uygulama sekmesinde bu uygunsuzluklar ve düzeltilmiş durumları hakkında bilgi verilerek iç kapı üretim alanının yalın üretime bir adım daha yaklaştırılması sağlanmıştır.

Yapılan tez çalışması sonrasında VSM, akış şeması ve spaghetti diyagramları yardımıyla çalışmanın etkisi görselleştirilip çalışma öncesindeki durumları ile karşılaştırılarak, yapılan çalışmanın başarılı olup olmadığının ilk değerlendirmeleri yapılmış oldu. Daha sonrasında çalışmanın bütün sonuçlarının değerlendirmesi yapılmış ve çalışmanın üretim tesisine maddi kazançları hakkında bilgiler verilip, bir özet çizelge ile bütün kazançlar bir araya getirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmasında, yalın üretim ve bu tez çalışmasında kullanılması planlanan yöntemler ile alakalı çalışmalar hakkında araştırma yapılmıştır. Araştırılan konularda birden fazla yöntem olması durumunda bütün yöntemler kıyaslanmış ve çalışmaya en uygun olacağı düşünülen yöntem ile çalışmaya devam edilmiştir.

İlk olarak yalın üretimden bahsedecek olursak, Ahmed ve Islam (2024) tarafından yapılan çalışmada üretim hattının performansını iyileştirmek amacıyla yalın üretim yöntemleri kullanılmıştır. 5S, istatistiksel proses kontrolü, VSM, balık kılçığı diyagram ve simülasyonlar kullanılarak yapılan çalışmada ergonomik açıdan da incelemeler yapılmıştır. Haftalık üretim adedi, çevrim süresi, hat verimliliği ve üretim verimliliği gibi performans göstergelerinde gelişmeler gerçekleşmiştir. Ayrıca Gebeyehu ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada üretim süresini kısaltmak için yalın üretim prensiplerini kullanarak çalışma yapılmış, israfları ve katma değeri olmayan işleri azaltıp verimliliği artırmak amaçlanmıştır. Bu çalışmada değer akışı haritalama yöntemi (VSM) ve spaghetti diyagramı gibi yöntemler kullanılarak süreç incelenmiş ve sonrasında zaman çalışmaları ile iş istasyonları yeniden düzenlenmiştir. Bu çalışma sonucunda üretim süresi, bekleme süresi, toplam mesafe, çalışan sayısı azaltılırken verimlilik artırılmıştır. Crisostomo ve Jimenez (2021) tarafından yapılan bir diğer çalışmada yapıştırıcı üretim alanında yalın üretim uygulaması ile verimlilik artışı gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Yalın üretim araçlarından 5S ve Kaizen kullanılarak çalışmalar ve iyileştirmeler yapılmış, çalışanların malzeme arama ve taşıma sırasında harcadığı zaman azaltılmıştır. Ayrıca Kaizen çalışmalarıyla da üretim süresinde yaklaşık 3 saatlik bir kısaltılma da sağlanmıştır. Çalışma sonrasında altı aylık verimlilik değerleri istatistiksel olarak t-testine tabi tutulmuş ve sonucunda çalışma sonrası verimliliğin artırıldığı istatistiki olarak kanıtlanmıştır. Haddad ve diğ. (2021) tarafından alüminyum profil üreten bir tesiste yapılan bir uygulamada yalın üretim araçlarından tek dakikada kalıp değişimi (SMED) tekniği kullanılarak makine etkinliği artırılması amaçlanmıştır. Zaman çalışmaları ve balık kılçığı diyagramı ile mevcut durum incelenmiştir ve yeni durumda süreçler SMED yöntemi ile sadeleştirilip

optimize edilerek iyileştirilmiştir. Çalışma sonrasında yeni durum akış şeması ile görselleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda da kalıp değişim süresi ve buna bağlı olarak toplam ekipman etkinliği (OEE) değerinde artış gerçekleşmiş ve yaklaşık 218,400 Amerikan Doları (USD) kazanç sağlanmıştır. Yine Khalid ve diğ. (2021) tarafından yazılan bir makalede, Pakistan’da bulunan bir tekstil fabrikasının baskı makinesi için kalıp değişim sürelerini azaltmak ve verimlilik artışı sağlamak amacıyla SMED ve 5S yöntemleri uygulanmıştır. Aktiviteler analiz edilip içsel aktivitelerin dışsal aktivitelere çevrilmesi ile kalıp değişim süreleri 142 dakikadan 117 dakika seviyesine indirilerek makinenin etkinliğinin artırılması sağlanmıştır. Jara ve diğ. (2023) tarafından Peru’da menteşe üretimi yapan bir firmada verimliliği artırmak için yapılan çalışmalarda 5S, sistematik yerleşim planlama (SLP) ve tam zamanında üretim (JIT) gibi yalın üretim araçları kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonrasında çalışma alanında aletlere erişimlerde gerçekleşen zaman kayıpları azaltılırken, yeni yerleşim planı ile gereksiz mesafeler ortadan kaldırılarak yürüyüş mesafeleri azaltılmıştır. Ayrıca JIT yöntemi kullanarak stokta bekleyen yarı mamul miktarlarını da azaltmak amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar ile verimlilik oranlarında yaklaşık %10 değerinde artış gerçekleşmiştir.

Yalın üretim hakkında yapılmış olan literatür çalışmalarını incelediğimizde, yalın üretim yöntemlerinin verimliliğin artırılması ve israfların azaltılması için ne kadar da önemli olduğunu görmekteyiz. Bu kaynaklarda karşılaştığımız yöntemler ve tezde kullanılacak yöntemleri belirlemek için bu araçların da çeşitlerini inceleyebilmek amacıyla literatür araştırmasına daha detaylandırarak devam edilecektir. Yalın üretim konusunda yapılan literatür çalışmalarının özet tablosunu Çizelge 2.1’de inceleyebilirsiniz.

Yalın üretim çalışmalarında sıklıkla karşılaştığımız 5S felsefesi, üretimde her şeyin düzenli olmasını sağlayan bir Japon felsefesidir. Tekin ve diğ. (2018) yazdığı makaleye göre 5S, çalışma alanlarında düzenin ve tertibin sağlanmasının ve işçilerin verimliliğinin iyileştirilmesinin bir yöntemidir. Bu teknik ile aranan her şey yerinde düzgün bir biçimde bulunacak ve üretimde yaşanabilecek kayıpların önüne geçilebilecektir. Sari ve diğ. (2017) tarafından yazılan makaleye göre bu yöntemde bulunan 5 başlık Japonca kelimelerin baş harflerinden oluşmuştur ve bu yöntemler sırasıyla seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke olarak belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 : Yalın üretim literatür incelemesi.

Yazar	Yıl	Amaç	Yöntem	Sonuç
Ahmed ve Islam	2024	• Üretim hatlarının performansını iyileştirmek	• 5S • İstatistiksel proses kontrol • VSM • Balık kılçığı diyagramı	• Haftalık üretim adedi, çevrim süresi, hat verimliliği ve üretim verimliliği gibi performans göstergelerinde gelişmeler gerçekleşmiştir.
Jara ve diğ.	2023	• Verimliliği artırmak	• Sistematik yerleşim planlama (SLP) • Tam zamanında üretim (JIT)	• Aletlere erişimlerde gerçekleşen zaman kayıpları azaltıldı • Yeni yerleşim planı ile gereksiz mesafeler ortadan kaldırılarak yürüyüş mesafeleri azaltıldı. • Verimlilik oranlarında yaklaşık %10 değerinde artış gerçekleşti.
Gebeyehu ve diğ.	2022	• Üretim süresini kısaltmak, israfları azaltıp verimliliği artırmak amaçlanmıştır.	• Değer akışı haritalama yöntemi (VSM) • Spaghetti diyagramı	• Üretim süresi, bekleme süresi, toplam mesafe, çalışan sayısı azaltılmıştır • Verimlilik artırılmıştır.

Çizelge 2.1 (devam) : Yalın üretim literatür incelemesi.

Yazar	Yıl	Amaç	Yöntem	Sonuç
Crisostomo ve Jimenez	2021	• Üretim alanında yalın üretim uygulaması ile verimlilik artırışı gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.	• 5S • Kaizen	• Çalışanların malzeme arama ve taşıma sırasında harcadığı zaman azaltılmıştır. • Çalışma sonrası verimliliğin artırıldığı istatistiki olarak kanıtlanmıştır.
Haddad ve diğ.	2021	• Makine etkinliği artırılması amaçlanmıştır.	• SMED • Zaman Çalışması • Balık Kılçığı	• Toplam ekipman etkinliği (OEE) değerinde artış gerçekleşmiştir • Yaklaşık 218,400 USD kazanç sağlanmıştır
Khalid ve diğ.	2021	• Kalıp değişim sürelerini azaltmak • Verimlilik artırışı sağlamak	• SMED • 5S	• Kalıp değişim süreleri 142 dakikadan 117 dakika seviyesine indirildi.

Mazur ve diğ. (2024) tarafından yapılan çalışmada ayıklama adımıyla çalışma alanında bulunmaması gereken veya yanlış yerde bulunan parçalar belirlenip gereksiz olan parçalar uzaklaştırılmıştır. Morey (2020) yaptığı çalışmada, yapılan ayıklama işlemi sonrasında çalışma alanından tasarruf sağlamış, fazla malzemelerin eksiltilmesi ile gereksiz envanterleri azaltmış ve mevcut alan daha etkili bir şekilde kullanılmıştır. Veres ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada düzenleme adımını, çalışma alanında kullanılan alet ve eşyaların, kullanımı bittikten sonra kolayca bulunması gereken yere tekrardan konulabilmesinin sistematik bir şekilde sağlanması olarak tanımlanmıştır. Morey (2020) tarafından yazılan makaleye göre düzenleme adımının sağlanması için kullanılmış aletlerin yerine geri konulmasının zorunlu tutulması, tüm ekipmanların tanımlanmış ve isimlendirilmiş yerlerinin olması gerekmektedir. Pentti (2014) tarafından yapılan çalışmada “seiso” yönteminde çalışma ortamının, yerlerin ve havanın temiz olması gerektiğini ve havanın temiz olmasının hem çalışan motivasyonu hem de ortamda bulunan makinelerin ömrü için önemli olduğunu belirtmiştir. Morey (2020) tarafından yazılan makaleye göre temizlik adımıyla her çalışma vardiyası için bir temizlik planı yapılmalıdır ve bu yöntem makinelerde ortaya çıkan problemlerin olası sebeplerinin daha rahat belirlenmesini sağlamaktadır.

Falkowski ve Kitowski (2013) tarafından yazılan makaleye göre ilk üç adımda yapılan çalışmalar ve iyileştirmeler sonrasında bu standardizasyon adımı kullanımı başlayabilir ve bu üç adımda belirlenen kuralların ve görevlerin çalışanlara tanıtılması, hedefleri anlamalarını sağlayacaktır. Kaushik ve diğ. (2015) tarafından yazılan makaleye göre dördüncü adımda çalışanlar, sürekli ve gözle görülebilir yerlerde gerekli standartlara kolayca erişebilmeleridir. Mazur ve diğ. (2024) tarafından yazılan makalede bu adım için standartların takibini yapmak amacıyla periyodik olarak 5S denetimlerinin yapılması gerektiğini ve yönetime uyan ve yöntemi geliştiren çalışanların ödüllendirip takdir edilmesi ile herkesin teşvik edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Filip ve Marascu-Klein (2015) tarafından yapılan çalışmada ise periyodik kontrol yöntemlerinin standartlardan sapma ve derhal önlemlerin alınması konusunda çok önemli olduğu ve 5S yöntemini daha ileri taşımak için önemli olduğu vurgulanmıştır.

5S’in hayatın her alanında, her çalışma alanı için uygulanabilir bir yöntem olduğunu yapılan akademik çalışmalarda da görebiliyoruz. Bu konuda yazılan makaleler farklı çalışma alanları için yazılmış ve bu alanlarda iyileştirmeler sağlanmıştır. Kocher ve diğ. (2025) biyopsi eğitimi ortamında yaptıkları çalışmada güvenlik odaklı olarak nasıl

uygulanabileceğini incelemişlerdir ve eğitim materyallerinin dağınıklığı ve güvenlik rislerini ortadan kaldırarak verimliliği artırmaya çalışmışlardır. Altıncı S prensibini de ekleyerek güvenliğini de yönteme eklemeye çalışmışlardır. Çalışma sonunda düzen sağlanmış ve zaman tasarufu ile verimlilik artışı gerçekleştirilmiştir. Sari ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada, ergonomi laboratuvarında 5S iyileştirme çalışmaları yapmıştır ve bu çalışmalar sonucunda laboratuvarda gözle görünür iyileştirme gerçekleştirmiş ve 5S açısından alanda %50'lik iyileştirme yapılarak çalışanların alet ve malzemelerin yerlerini aramada harcadıkları zamanı azaltmışlardır. Bir diğer laboratuvar uygulaması olarak Doğan ve diğ. (2014) yazdıkları çalışmada Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi'nin laboratuvarında yapılan 5S iyileştirmeleri sonucunda çalışanların memnuniyet seviyelerinde bir artışı olduğunu belirtmiştir. Daha hızlı ve verimli bir çalışma ortamı sağlandığını gözlemlemişlerdir. Pentti (2014) tarafından yapılan çalışmada da 5S yöntemi prototip atölyesi ve laboratuvarlarda uygulanmıştır ve çalışma israfları, malzeme kullanımını, çalışan stresini azaltırken, çalışanlardaki mutluluğu da artırmıştır.

Veres ve diğ. (2018) yazdıkları makalede 5S ve verimlilik arasında bir ilişki olup olmadığını anlamak amacıyla bir dizi çalışma yapmış ve 5S yöntemi ile verimlilik arasında pozitif ilişkili bir korelasyon olduğunu fark etmişlerdir. Morey (2020) tarafından yazılan bir diğer makalede de 5S yöntemi traktör üretimi yapan bir fabrikada kullanılmış ve sonucunda işin verimliliğinde bir artışı gözlemlemiştir. Ayrıca arıza sayılarında düşüş, ürünün adedi ve kalitesinde artışı meydana gelmiştir. Mazur ve diğ. (2024) otomotiv sektörüne yapısal üniteler ve teknoloji tedariği ve montajı yapan bir fabrikanın üretim tesisinde çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmanın sonunda 5S uygulaması ile yapılan çalışma sonrasında çalışma ortamı güvenliğinin önemli ölçüde artmış olduğunu, 5S yönteminin başarılı bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Bu makalelerde de görebileceğimiz üzere bu metot otomotiv sektöründe de tercih edilen bir yöntemdir. Otomotive ilave olarak 5S yönteminin gıda üretimi yapan fabrikalarda da kullanıldığı literatür araştırmalarında görülmüştür. Tekin ve diğ. (2018) yazdığı makaleye göre 5S yöntemi, un üretimi yapan bir fabrikada kullanılmıştır ve çalışma sonucunda performans ve kalitede artışı gözlemlenmiş, atıl süreler ve stok seviyesi düşürülerek israfların önüne geçilmiştir.

Çizelge 2.2 : 5S literatür incelemesi.

Yazar	Yıl	Çalışma Alanı	Amaç	Sonuç
Mazur ve diğ.	2024	Otomotiv sektörüne tedarik ve montaj yapan bir fabrikanın üretim tesisinde	Süreç İyileştirme	Çalışma ortamı güvenliğinin önemli ölçüde artmıştır.
Morey	2020	Traktör üretimi yapan bir fabrikada	Verimlilik artışı	- Sonucunda işin verimliliğinde bir artış gözlemlenmiştir. - Arıza sayılarında düşüş, ürünün adedi ve kalitesinde artış meydana gelmiştir.
Tekin ve diğ.	2018	Un üretimi yapan bir fabrikada	Süreç İyileştirme	- Performans ve kalitede artış gözlemlenmiştir - Atıl süreler ve stok seviyesi düşürülerek israfların önüne geçilmiştir.
Veres ve diğ.	2018	Otomotiv sektöründe üretim yapan bir tesis	5S ve verimlilik arasında ilişki olup olmadığını anlamak	5S yöntemi ile verimlilik arasında pozitif ilişkili bir korelasyon olduğunu fark etmişlerdir

Çizelge 2.2 (devam) : 5S literatür incelemesi.

Yazar	Yıl	Çalışma Alanı	Amaç	Sonuç
Sari ve diğ.	2017	• Ergonomi Laboratuvarı	• Süreç İyileştirme	• 5S açısından alanda %50'lik iyileştirme yapılarak çalışanların alet ve malzemeleri aramada harcadıkları zamanı azaltmışlardır.
Pentti	2014	• Prototip atölyesi ve laboratuvarlarda	• Süreç İyileştirme	• Çalışma israfları, malzeme kullanımını, çalışan stresini azaltırken, çalışanlardaki mutluluğu da artırmıştır.
Doğan ve diğ.	2014	• Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi'nin laboratuvarında	• Süreç İyileştirme	• 5S iyileştirmeleri sonucunda çalışanların memnuniyet seviyelerinde artış olmuştur. • Daha hızlı ve verimli bir çalışma ortamı sağlandığını gözlemlemişlerdir.

Çizelge 2.2’de literatürdeki 5S çalışmalarının özet tabloları incelenebilir. 5S yönteminin literatürde çok farklı sektörlerde uygulandığını ve bu uygulama sonrasında israfların azaltıldığını, kalitenin, verimliliğin ve iş güvenliğinin arttığını farklı çalışmalarda görebilmekteyiz. Bu nedenle 5S yöntemini tez çalışmamızda kullanarak biz de verimlilik ve kaliteye katkıda bulunmayı amaçlıyoruz.

5S yöntemine ilave olarak literatürde sıkça geçen bir diğer yalın üretim aracı da VSM’dir. VSM, değer akışı haritalama yöntemi olarak geçmektedir. Palange ve Dhatrak’ın (2021) araştırmalarına göre bu metot ile malzeme akışı, üretim sırasında gerçekleştirilen faaliyetler, üreticiler, tedarikçiler ve dağıtıcılar arasındaki ilişkilerin mevcut durumu haritalanır. Singh ve diğ. (2011) çalışmalarında bu yöntemi geleneksel yöntemlerden ayıran özelliğin, bu yöntemde istasyon çevrim süresi, kaynak kullanımı, kurulum süresi, insan gücü gereksinimi ve ham maddeden bitmiş ürüne bilgi akışı hakkında istasyon bazlı olarak bilgi vermesi olduğunu belirtmişlerdir. Rahani ve al-Ashraf (2012) tarafından yazılan makaleye göre de mevcut durumun değer akış haritası çıkartıldıktan sonra süreçte iyileştirilebilecek potansiyel noktaları da belirlemek amacıyla gelecek durum haritası çalışmaları yapılır. Poswa ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada VSM yönteminin statik bir yöntem olduğunu belirtmişler ve değişen koşullara göre gerçek zamanlı analiz yapabilmek için simüle edilmiş değer akışı haritalama (SVSM) yöntemi kullanmışlardır ve bu yöntem ile değişen koşullar sonucunda meydana gelen katma değersiz işleri tespit ederek çalışma sonunda %4 değerinde verimlilik artışı sağlamışlardır. Dinesh ve diğ. (2022) de karton üretimi yapan bir fabrikada bekleme süreleri, gereksiz hareketler gibi israfları belirlemek ve ortadan kaldırmak amacı ile VSM yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemle belirlenen iyileştirmelerin hayata geçirilmesi sonrasında ise farklı üretim bölümlerinde %58’e varan verimlilik iyileştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma VSM ve yalın üretimin birlikte uygulandığında nasıl iyileştirmeler yapılabileceğini gözler önüne sermektedir. Pambhar ve Pambhar (2017) tarafından Hindistan’da bir üretim hattında verimlilik artışı gerçekleştirme çalışmasında da yine VSM yöntemi kullanılmıştır. Katma değer sağlamayan hareketlerin belirlenmesinde mevcut durumun haritası çıkartılmış ve hedef durum olarak da gelecek durum haritası çıkartılarak iyileştirmeler üzerine çalışılmıştır. Bu çalışma sonrasında katma değeri olmayan işlerin oranı %6 oranında azaltılmıştır ve işin yapılma süresi 1230 saniyeden 898 saniyeye düşürülmüştür.

Tezimizin konusu gibi olan verimlilik konulu literatür çalışmalarını incelediğimizde zaman etüdü sıkça yer alan bir konudur. Zaman etüdü konusunda literatürde hem genel olarak farklı sektörlerde ortak olarak kullanılan yöntemler bulunurken hem de sektör bazlı özelleşen farklı yöntemler bulunmaktadır. İlk olarak Jakschik ve diğ. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada insan-robot iş birliği içeren montaj sistemlerinde bir montaj sürecinin otomosayona uygun olup olmadığını değerlendirmek için bir yöntem önermektedirler. Bu yöntemde MTM-1 sistemi kullanarak zaman analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda da insan-robot iş birliği ile zaman tasarrufu sağlanmış ve insan-iş birliği için ön analiz sağlanmıştır. Dal (2010) tarafından yapılan çalışmada hazır giyim sektöründe faaliyet gösteren bir firmada Devlet İş Zamanları Belirleme Komisyonu (REFA) yöntemini, metod zaman ölçümü (MTM) yöntemini ve sektöre özel bir zaman etüdü yöntemi olan genel dikiş verileri (GSD) yöntemi ile karşılaştırmalı bir şekilde çalışma yapmıştır. Bu çalışma sonucunda üç yöntem için de benzer sonuçlara ulaşıldığı ve ortaya çıkan sürelerin güvenilir olduğu belirlenmiştir. Fakat yöntemlerin pratikliğini göz önünde bulundurarak bu firma için en uygun yöntemlerin MTM ve GSD olduğunu belirtmişlerdir. Kalkancı (2018) tarafından yapılan ve tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir firmada yapılan çalışmada kronometre ile yapılan ölçümler ile MTM yöntemi kıyaslanmıştır ve iki yöntem arasında yaklaşık olarak kronometre ölçümü daha fazla olacak şekilde 3,15 saniyelik fark çıkmıştır. Bu farklılık sebebi için de ölçüm çalışanlarının deneyimi olarak ortaya konmuştur. Ünal ve Narin (2023) de konfeksiyon firmasında çalışma verimliliği artırmayı amaçladığı uygulamada MTM yöntemini kullanarak analizler yapmıştır ve bu yöntemin farklı alanlarda da hızlı ve güvenilir sonuçlar elde ederek kullanılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca verimliliği artırmak ve hat dengelemek için değerli bir yöntem olduğunu belirterek farklı sektör ve üretim alanlarında da kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Sonuç kısmında da yapılan karşılaştırmalarda MTM sürelerinin tutulan kayıt sürelerinden biraz daha kısa oldukları gözlemlenmiştir. Morlock ve diğ. (2017) tarafından yazılan bir diğer makalede MTM yönteminin uygulamalardaki faydalarına rağmen, bu yöntemin eğitim ve zaman gerektirdiği için fazlaca kullanılmasından çekinildiğinden bahsedilmektedir. Fakat yapılan bu çalışmada “Öğrenme Fabrikası” adı verilen gerçek ortamları simüle eden deneysel eğitim platformlarıyla kısa ve temel düzeyde anlaşılabilir eğitimler ile bu yöntemin yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Tuan ve diğ. (2014) tarafından yazılan çalışmada, otomotiv üretim sektöründe çalışmakta olan bir firmada yapılması planlanan iş

iyileştirmesi ve verimlilik çalışması için zaman etüdü yöntemi olarak Maynard Operasyon Sırası Tekniği (MOST) adı verilen bir yöntem kullanılmıştır. Yapılan zaman analizleri sonucunda darboğaz noktalar belirlenmiş ve bu noktalar için aksiyonlar alınıp iyileştirmeler yapılarak üretim oranında artışlar meydana gelmiştir. Çalışmaya göre üretim alanlarında MOST yöntemi ile süreler hesaplanarak başarılı sonuçlar alınıp iyileştirmeler gerçekleştirilebilir. Karad ve diğ. (2016) tarafından yapılan bir diğer çalışmada da yine otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada Maynard Operasyon Sırası Tekniği kullanılarak yapılan zaman etüdü çalışmaları sonrasında gece vardiyasında çalışmakta olan altı kişilik iş gücünden kazanç sağlayarak verimliliği artırılmıştır. Bu yöntem ile de MOST yönteminin üretimde kapasite planlama, âtil zamanların azaltılması ve çalışmanın iyileştirilmesi gibi konularda önemli bir rol oynadığı gösterilmiştir. Viharos ve Ban (2020) tarafından yapılan çalışmada en yaygın olarak kullanılan önceden belirlenmiş hareket zaman sistemleri yöntemlerinden olan MTM ve MOST yöntemlerinin karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu çalışmada yöntemler hareket, uygulanabilirlik, etkiler ve uygulamalar başlıkları altında incelenmişlerdir. Çalışmaya göre otomotiv sektöründe yapılan bir uygulamada kronometre ölçümleri, MTM ve MOST hesap süreleri yaklaşık olarak aynı süreleri verirken proses zamanındaki iyileştirme MTM yönteminde %20 iken MOST yöntemi ile %6 olarak hesaplanmıştır.

Bu yapılan çalışmalara ek olarak tüketici elektroniği üretimi alanında çalışmalar da yapılmıştır. Cho ve diğ. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada tüketici elektroniği üreten bir fabrikada üretilen ürünlerin daha tasarım aşamasındayken önceden belirlenmiş zaman standartlarının modüler düzenlemesi (MODAPTS) yöntemi kullanarak doğru ve hızlı bir zaman çalışması yapmasını amaçlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda MODAPTS yöntemi kullanılarak on operasyon ile yeni tasarımların montaj süreleri hesaplanmaya çalışılmıştır. Assef ve diğ. (2018) tarafından otomotiv endüstrisinde yapılan çalışmada yine MODAPTS ve kronometre ölçümleri arasında karşılaştırmalar yaparak çalışanların performansı ile yöntemin çıktıları arasındaki farkları incelemeyi amaçlanmıştır. Yapılan analizlerden sonra MODAPTS yönteminin standart zaman hesabında yararlı olduğu fakat manuel ölçümlerle aralarında farklar gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu çalışma manuel ölçümlerin ergonomi, yorgunluk ve bireysel farklılıklar sebebiyle yapılması ve göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmektedir. Çakmakçı ve Karasu (2007) tarafından otomotiv sanayide kurulum

sürelerinin azaltılması amacıyla yapılan bir çalışmada MTM-UAS yöntemi kullanılmıştır. Bu teze göre birçok MTM yöntemi bulunmaktadır ve bu yöntemlerin uygulanmasından önce değişkenlere uygun olan yöntem seçilmelidir. Şekil 2.1’de değişkenler ve uygun olan MTM yöntemleri incelenebilir. Bu çalışmada kurulum sürelerinin azaltılması için SMED ve MTM yöntemlerinin entegrasyonu önerilmiştir ve bu entegrasyon ile optimum değişim prosedürlerinde standardizasyon sağlanabileceği belirtilmiştir.

İş Organizasyonu					Mesafe Toleransı		
Sipariş Bilgisi	İş Akışı	Malzeme Organizasyonu	Çalışma Alanı				
5	Hareket Unsurları	Kısa Çevrim İş Akışı	Malzeme Getirme (En uygun)	Detaylı Hazırlanmış (Her Bir İş Akışı İçin)	< ±2.5		
4	Hareket Süratı	Uzun Çevrim İş Akışı	Malzeme Getirme	Değişken (Ürün İçin Hazırlanmış)	< ±7.5		
3	Operasyon Unsurları	Düşük Değişkenlik Uzun Çevrim İş Akışı	Hazırlanmış Malzeme Alma	Standart Çalışma İstasyonu	> ±7.5		
2	Parça Siparişi	Düşük Değişkenlik Yüksek Çevrim İş Akışı	Malzeme Alma	Evrensel Çalışma İstasyonu	> ±7.5		
1	Tamamen Üretim	Kısıtlamasız Hazırlanmış	Malzeme Arama	Kısıtlamasız Hazırlanmış	> ±7.5		
Üretim Tipi					Aylık benzer sipariş adedi * Ortalama parti büyüklüğü		
Seri Üretim					> 200		
Tekli ve az adetli üretim					< 200		

Şekil 2.1 : MTM yöntemleri ve seçim kriterleri (Çakmakçı ve Karasu, 2007).

Zaman etüdü konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde çeşitli ve her sektörde kullanılabilen önceden belirlenmiş zaman ölçüm sistemi metotları ve sektöre göre özelleşmiş olan yöntemler bulunmaktadır. Fakat bu yöntemler arasında en çok kullanılanları MTM, MODAPTS ve MOST yöntemleridir. Bu yöntemler arasından tez çalışmamızda bir yöntem seçecek olursak iyileştirme sürelerine etkisi ve genel olarak sektörlerdeki başarılı ve geniş kullanımı sebebiyle MTM yöntemi kullanılması uygun görülmüştür. Çakmakçı ve Karasu (2007) tarafından yapılan çalışmada verilen farklı MTM yöntemleri ve bu yöntemlerin seçim kriterlerini incelediğimizde tezimiz için uygun olan yönteminin de MTM-UAS yöntemi olduğuna karar verilmiştir. Çizelge 2.3’te zaman çalışması yöntemlerinin literatür çalışmalarının özet tablolarını inceleyebiliriz.

Ergonomi işçilerin sağlığı ve çalışma verimliliği konusunda çok önemli bir kavramdır. Literatürde inceleme yaptığımızda çeşitli ergonomik analiz yöntemlerini kullanılarak çalışanların iş süreçlerindeki hareketlerin ilerleyen yıllarda kas ve iskelet sistemi hastalıkları yaşama riski yaratıp yaratmadıkları kontrol edilmiştir.

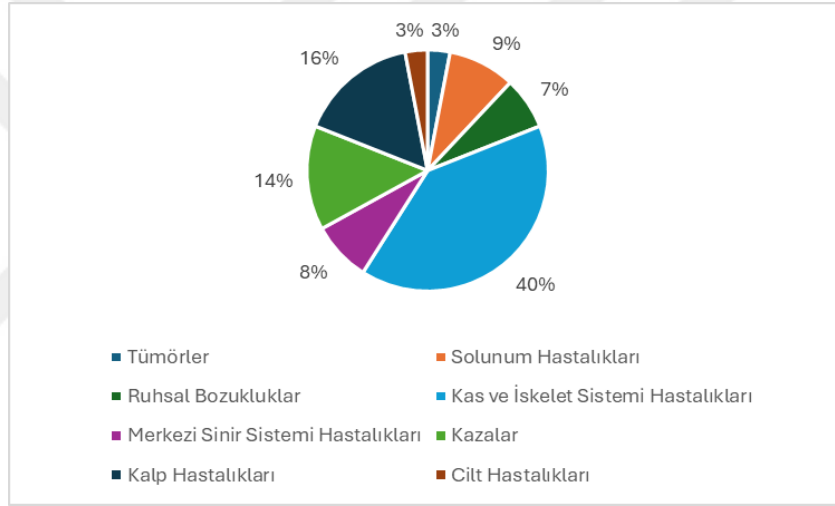
Çizelge 2.3 : Zaman çalışması literatür incelemesi.

Yazar	Yıl	Çalışma Alanı	Yöntem	Sonuç
Jakschik ve diğ.	2024	İmalat montaj hattı	MTM	- İnsan- robot iş birliği ile zaman tasarrufu sağlanmış ve insan-iş birliği için ön analiz sağlanmıştır - Ayrıca verimliliği artırmak ve hat dengelemek için değerli bir yöntem olduğunu belirterek farklı sektör ve üretim alanlarında da kullanılabileceğini belirtmişlerdir.
Ünal ve Narin	2023	Tekstil sektörü	MTM	Sonuç kısmında da yapılan karşılaştırmalarda MTM sürelerinin tutulan kayıt sürelerinden biraz daha kısa oldukları gözlemlenmiştir.
Viharos ve Ban	2020	Otomotiv üretim sektörü	- MTM - MOST	- Kronometre ölçümleri, MTM ve MOST hesap süreleri yaklaşık olarak aynı süreleri vermiştir. - Proses zamanındaki iyileştirme MTM yönteminde %20 iken MOST yöntemi ile %6 olarak hesaplanmıştır.
Kalkancı	2018	Tekstil sektörü	- Kronometre - MTM	- İki yöntem arasında yaklaşık olarak kronometre ölçümü daha fazla olacak şekilde 3,15 saniyelik fark çıkmıştır. - Bu farklılık sebebi için de ölçüm çalışanlarının deneyimi olarak ortaya konmuştur.
Assef ve diğ.	2018	Otomotiv üretim sektörü	- MODAPTS - Kronometre	- MODAPTS yönteminin standart zaman hesabında yararlı olduğu fakat manuel ölçümlerle aralarında farklar gözlemlendiği belirtilmiştir. - Manuel ölçümlerin ergonomi, yorgunluk ve bireysel farklılıkların göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 2.3 (devam) : Zaman çalışması literatür incelemesi.

Yazar	Yıl	Çalışma Alanı	Yöntem	Sonuç
Morlock ve diğ.	2017	MTM yönteminin geliştirilmesi	MTM	- MTM yönteminin uygulamalardaki faydalarına rağmen eğitim ve zaman gerektirdiği için fazlaca kullanılmasından çekinildiğinden bahsedilmektedir. - Yapılan bu çalışmada “Öğrenme Fabrikası” adı verilen gerçek ortamları simüle eden deneysel eğitim platformlarıyla kısa ve temel düzeyde eğitimler ile bu yöntemin yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.
Karad ve diğ.	2016	Otomotiv üretim sektörü	MOST	Zaman etüdü çalışmaları sonrasında gece vardiyasında çalışmakta olan altı kişilik iş gücünden kazanç sağlayarak verimliliği artırılmıştır.
Cho ve diğ.	2014	Tüketici elektroniği üretimi	MODAPTS	MODAPTS yöntemi kullanılarak yeni tasarımların montaj süreleri hesaplanmaya çalışılmıştır.
Tuan ve diğ.	2014	Otomotiv üretim sektörü	MOST	- Zaman analizleri sonucunda darboğazlar belirlenmiştir. - Aksiyonlar alınıp iyileştirmeler yapılarak üretim oranında artışlar meydana gelmiştir.
Dal	2010	Hazır giyim sektörü	- REFA - MTM - GSD	- Üç yöntem ile benzer sonuçlara ulaşılmıştır ve güvenilirdir - Yöntemlerin pratikliği değerlendirildiğinde firma için en uygun yöntemlerin MTM ve GSD olduğunu belirtmişlerdir.
Çakmakçı ve Karasu	2007	Otomotiv üretim sektörü	MTM	- Bu çalışmada kurulum sürelerinin azaltılması için SMED ve MTM entegrasyonu önerilmiştir. - Bu entegrasyon ile optimum değişim prosedürlerinde standardizasyon sağlanabileceği belirtilmiştir.

Yetim ve Gündüz (2015) tarafından yapılan araştırmaya göre ergonomi, çalışanın yaşam ve çalışma şartlarını geliştiren ve verimliliği artırarak firmalara kazanç sağlayan, fizyolojik ve ruhsal şartları iyileştirerek kas ve iskelet hastalıklarının engellenmesini sağlayan bir bilimdir. Niu (2010) yazdığı makalede Avrupa çalışma koşulları anketinden yararlanarak Avrupa içerisinde çalışanların dörtte birinin sırt ağrılarından ve %23'ü de kas ağrılarından şikayetçi olduğunu belirtmiştir. Bevan (2015) tarafından yapılan çalışmaya göre de Avrupa'da meydana gelen iş kaynaklı hastalıkların en çok görülen sebebi tüm vakalarının yarısından daha fazla olan kas ve iskelet sistemi bozukluklarıdır. Niu (2010) yaptığı çalışmasına göre iş kazaları ve hastalıklar sebebiyle meydana gelen maliyetlerin hastalık türlerine göre dağılımları Şekil 2.2'de belirtilmiştir.



Şekil 2.2 : Maliyetlerin hastalık türlerine göre dağılımları (Niu, 2010).

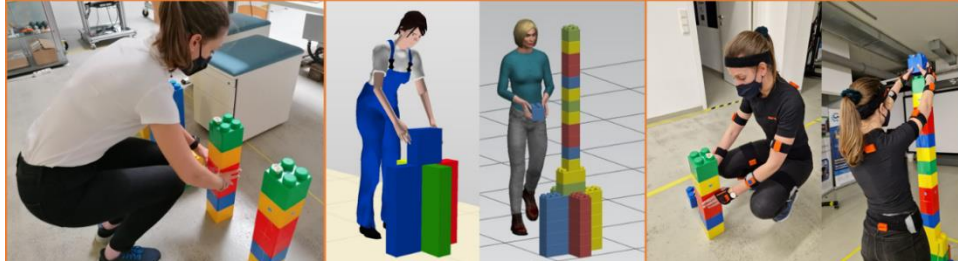
Şekil 2.2'deki grafikte de görüldüğü üzere bu hastalıkların meydana getirdiği maliyetlerde en büyük payı iskelet ve kas hastalıkları oluşturmaktadır. Niu'nun (2010) makalesinde bahsettiğine göre kas ve iskelet sistemleri rahatsızlıklarının meydana gelmesinde etkili olan temel unsurlar; hızlı veya tekrarlayan hareketler, kuvvetli efor harcanması, çok fazla mekanik kuvvet yoğunluğu, vücudun duruşu, titreşim ve son olarak yerel veya çevresel soğukluktur.

Bu sebeple üretim proseslerinin belirlenmesi ve geliştirilmesi sürecinde iskelet ve kas hastalıklarının meydana gelip gelmeyeceğini kontrol etmek amacı ile çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu ergonomi analizi yöntemleri üretimde proseslerin belirlenmesi konusunda çok büyük önem taşımaktadır. Snook ve diğ. (1978) göre şu an çalışmakta olan işçilerin yaşadığı kas ve iskelet rahatsızlıklarının yarısından fazlası, ergonomisi

gözetilerek yapılacak olan süreçlerin tasarımı ile önlenebilir. Özcan (2021) tarafından yazılan makaleye göre ise çalışma ortamlarında ergonomik iyileştirmelerin yapılmama durumunda çalışanların yaşadıkları rahatsızlıklarda artış meydana gelebilir veya kalıcı iş gücü kayıpları yaşanabilir. Bu durumlarda çalışan tarafında sağlık problemlerine ek olarak üretici tarafında tazminat ödenmesi, üretim verimsizliği ve kaliteli olmayan üretim gibi maliyetler meydana gelebilir. Bu nedenlerden dolayı yapılan zaman çalışmalarına ek olarak çalışanların yaptıkları işlerin mesai sürelerinde onların özellikle kas ve iskelet sistemlerinde herhangi bir zorlama yaratıp yaratmadığı kontrol edilmeli ve sonuçlar değerlendirilmelidir. Ergonomik analizin sonucuna göre belirlenen prosesi uygunluğu kontrol edilerek çalışanın görevlendirmeleri yapılmalıdır. Özcan (2021) yazdığı makalede tüm vücudu değerlendirilerek yapılan ergonomik risk değerlendirmelerinde en çok kullanılan yöntemlerin hızlı maruziyet değerlendirme (QEC), Ovako çalışma duruşu değerlendirme sistemi (OWAS), ergonomik değerlendirme çalışma sayfası (EAWS), hızlı tüm vücut değerlendirmesi (REBA) ve Federal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (BAUA) yöntemi olarak belirtmiş ve bu yöntemlerin kullanılma sebebi olarak da bu yöntemlerin niceliksel olarak değerlendirmeler yapıp kolay kullanımlı ve düşük maliyetli olması olarak belirtmiştir. Bu yöntemler dışında literatürde hızlı üst uzuv değerlendirme (RULA) adı verilen bir diğer yöntem de dikkat çekmekte ve sıklıkla kullanılmaktadır.

Tomelleri ve diğ. (2024) tarafından yapılan çalışmada operatörlerin ergonomik olarak analiz eden bir dijital mimari geliştirmişlerdir. Temel hedef; işçilerin postür, kuvvet uygulaması ve malzeme taşıma gibi faaliyetlerini sensör verileriyle takip ederek ergonomik riskleri anlık ölçmektir. Bu çalışmada akıllı eldivenler, kameralar ve sensörler kullanılmıştır. Genel risk skoru olarak 30 değerine ulaşılmıştır ve istasyonların geliştirilmesi için iyileştirmeler önerilmiştir. Özcan (2021) tarafından otomotiv sektöründe çalışmakta olan işçiler için yapılan ergonomi analizi çalışmasında REBA ve BAUA yöntemleri ile risk hesaplaması yapıp yöntemler arasında karşılaştırmalı değerlendirme yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda her iki yöntemin risk olarak çıktısında, çalışanların mesai süresince yaptıkları işlerde maruz kaldıkları kuvvetlerin ve bunların etki sürelerinin önemli oldukları doğrulanmıştır. Ayrıca makaleye baktığımızda iki yöntem arasında farklılıklar bulunabileceği gözlemlenmiştir. Fischer ve diğ. (2023) Viyana Teknik Üniversitesi'nde yapılan çalışmada EAWS yöntemini üç farklı yöntemle beraber kullanarak yöntemin manuel,

dijital ve yapılan hareketlerin sensörler yardımı ile dijital olarak otomatik değerlendirilmesi durumlarının karşılaştırılmalı bir şekilde değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu yöntemler ile ilgili görseller Şekil 2.3'te görülebilir.



Şekil 2.3 : EAWS dijitalleştirme çalışması (Fischer ve diğ.,2023).

Mleczko ve Jasinska (2020) çalışmalarında otomotiv fabrikasında planlanan ve gerçekleşen ergonomik koşulları inceleyebilmek amacıyla MTM-UAS ve EAWS alt yapısını kullanan TiCon programına yer vererek yine ergonomi ve dijitalleşmeyi bir araya getirmişlerdir. Analiz sonrasında çok sayıda sarı ve kırmızı renkli istasyonların bulunduğunu tespit edip, bu çalışma istasyonlarının iyileştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma sonunda montaj hattında ergonomi analizi kırmızı olan istasyon kalmamıştır. Çalışma sonunda, ergonomik olarak planlanan istasyonların uygulamalar sonrasında da gözlemlerle güncellenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bortolini ve diğ. (2018) otomotiv sektöründe çalışan bir firmanın üretim kısmında çalışmakta olan operatörlerin hareketlerini değerlendirebilmek amacıyla hareket analiz sistemi (MAS) geliştirmişlerdir. Derinlik kameraları kullanılarak hareketler ve duruşlar izlendikten sonra veriler EAWS yöntemi ile analiz edilmiş ve operatör sağlığı için risk teşkil eden işleri tespit etmeye çalışmışlardır. Böylelikle endüstride ergonomik risklerin değerlendirilmesine yenilikçi ve pratik bir çözüm sunmuşlardır. Malaise ve diğ. (2019) yine EAWS yöntemini çalışmalarında dijitalleşme ile birleştirerek giyilebilir sensörler üzerinden elde edilen veriler ile çalışanların duruş ve hareketlerini incelemişlerdir. Bu çalışma ile endüstriyel ergonomide otomatikleşmeyi sağlayan yenilikçi bir yaklaşım yapmışlardır ve eğitimde yer almayan katılımcıların da hareketlerini tanımlama da başarılı olmuştur. Ramadhani ve diğ. (2018) çalışmasında yolcu taşıma sektöründe çalışmakta olan işçilerin duruş bozukluklarına dikkat etmişlerdir. Bu bozuklukların analiz edilmesi ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının yaşanmasını engellemek amacı ile REBA yöntemiyle beraber analizler gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda çıkan sonuçlara göre çalışanların kas ve iskelet rahatsızlıkları yaşama risklerini azaltacak

önerilerde bulunulmuş ve iyileştirme yapılabilecek olan noktalar belirlenmiştir. Bunun dışında Özkaya ve diğ. (2018) tarafından yazılan bir makalede mobilya sektöründe çalışmakta olan bir firmanın işçilerinin fiziksel iş yüklerinin analizi için OWAS yöntemi kullanılmıştır ve bu yöntem ile bu sektörde bu analizin yapıldığı ilk makale yazılmıştır. Çalışmanın sonucunda makinelerin ve proseslerin, iş kazası ve kas-iskelet rahatsızlıkları üzerinde nasıl bir etkisinin olduğunun bulunması amaçlanmıştır. Analizlere göre tesiste bulunan makinelerden beşi ergonomik açıdan riskli olarak değerlendirilmiştir. Bir diğer çalışmada Yetim ve Gündüz (2015), çalışma kaplarının taşıma prosesinin ergonomik olarak incelenmesi amacıyla analiz yapmıştır. Bu analiz sürecinde REBA ve BAUA ergonomik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda bu iki yöntem ile belirlenen prosesler için risk puanı hesaplanmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu makaleye göre REBA ve BAUA ile hesaplanan risk puanlarında farklılık gözlemlenmiş ve yazarlar tarafından daha çok güç ve vücut kullanılan işlerde BAUA yönteminin kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmiştir. Bir diğer çalışmada Ispasoiu ve diğ. (2021) Romanya’da otomotiv sektöründe çalışmakta olan işçilerin yaptıkları işleri inceleyerek mevcut risk durumu hakkında bilgi sahip olmak, ileride kas ve iskelet sistemi rahatsızlığı yaratma ihtimali taşıyan işleri belirlemek, tespit edilen ve riskli görülen işler ve istasyonlar için koruyucu tedbirleri almak amacıyla QEC yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sonucunda konveyör bantlarda yapılan işlerde en çok risk görülen bölgeler boyun, el bileği ve sırt olarak belirlenmiştir. Erdinç (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, QEC yönteminin çeşitli sektörlerdeki kullanımları incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda bu yöntemin makine ile dikiş işlemleri, kauçuk üretimi, yol yapımı sektörü, elektronik ürün üretimi, mobilya üretimi gibi çeşitli sektörlerde kullanıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada QEC’nin sanayide kullanım alanının oldukça geniş olduğundan ve etkin bir şekilde kullanılabildiğinden de bahsedilmiştir. Ayub ve Shah (2018) çalışmalarında Pakistan’daki ayakkabı ve tekstil sektöründe çalışmaktan olan ve 5 farklı çalışma istasyonu olan bir imalathanede çalışan işçiler için ergonomi analizi yapmışlardır. Bu çalışmada rastgele seçilen ortalama çalışanlar üzerinde QEC ve RULA yöntemleri uygulanmıştır. Toplanan veriler istatistiksel olarak incelenerek QEC ve RULA yöntemleri kıyaslanmıştır ve farklılıklar görülmüştür. Bunun temel sebebi olarak da QEC yönteminde etkenler arasında psikolojik faktörlerin de bulunması ve bu maddelerin katılımcılar tarafından manipüle edilebilmesi olarak gösterilmektedir. Bhardwaj ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada da yine imalat

sanayinde işçilerin maruz kaldığı riskleri değerlendirmek amacı ile QEC ve RULA yöntemlerini beraber kullanarak risk değerlendirmesi yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda her iki yöntem ile de işçilerin çalışma koşullarının yüksek risk barındırdıkları ve çalışma koşullarının ileride kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları yaşanma ihtimalini yükselttiklerini belirlemişlerdir. Son olarak Syed Mohammed ve diğ. (2023) tarafından bağlantı elemanları üretimi sektöründe yapılan çalışmada ergonomik analiz ve simülasyonu birleştirmek amacıyla Dijital İnsan Modelleme yöntemi kullanılmıştır. RULA yöntemi ile yapılan ergonomik analizler sonrasında bulunan riskler için riskleri azaltacak yöntemler bulmak ve yeni iş istasyonlarını tasarlamak amacıyla üç boyutlu modelleme programları kullanılmıştır.

Literatürde yapılan çalışmaları incelediğimizde RULA, QEC, EAWS, BAUA, OWAS gibi çeşitli yöntemler kullanıldığı görülmüştür. Hem yöntemlerin sıklıkla kullanıldığı sektörleri incelediğimizde hem de günümüz dünyasında dijitalleşme ile yöntemlerin de bağlantısı da incelediğimizde tez çalışmamız da kullanılabilecek olan en uygun yöntemin EAWS olduğu düşünülmüştür. Aşağıda Çizelge 2.4'te yukarıda anlatılmış olan yöntemlerin özet olarak anlatıldığı çizelgeyi inceleyebiliriz.

Akış şeması bir süreçte baştan sona olacak şekilde yapılan bütün operasyonları sıralayan ve sürecin daha iyi incelenmesini sağlayan bir diyagramdır. Sadiq ve Orłowska (1999) tarafından yazılan makaleye göre akış modelinin çıkarılması süresince işlerin düzgün bir şekilde tanımlanması, analiz edilmesi ve doğrulanması önemlidir. Ayrıca bir görevin başlatılmasından diğer görev topluluğunun başarılı bir şekilde tamamlanmasına kadar birbirine bağlıdır ve bu da akışı oluşturur.

Neves ve diğ. (2018) yazdığı makalede yapılan tekstil ürünlerinin üretimindeki vaka çalışmasında da israfları belirlemek ve yok etmek amacıyla proje metodolojisinde akış şeması kullanılmış ve yapılan çalışmalar sonunda operatör başına haftalık dört saat zaman kazancı sağlamışlardır. Realyvásquez-Vargas ve diğ. (2018) tarafından yapılan vaka çalışmasında da güncel durumu görselleştirebilmek ve geliştirebilmek amacıyla akış şeması oluşturulmuştur ve akış şeması yöntemi için firmaların küresel gücünü artırmasına yardımcı olacağı belirtilmiştir.

Çizelge 2.4 : Ergonomi analizi literatür incelemesi.

Yazar	Yıl	Çalışma Alanı	Yöntem	Sonuç
Tomelleri ve diğ.	2024	Montaj hattının dijital ekipman ve ergonomi entegrasyonu	EAWS	Bu çalışmada akıllı eldivenler, kameralar ve sensörler kullanılmıştır. Genel risk skoru olarak 30 değerine ulaşılmıştır ve istasyonların geliştirilmesi için iyileştirmeler önerilmiştir.
Fischer ve diğ.	2023	EAWS yönteminin dijitalleştirilmesi	EAWS	EAWS yönteminin manuel, dijital ve yapılan hareketlerin sensörler yardımı ile dijital olarak otomatik değerlendirilmesi durumlarının karşılaştırılmalı bir şekilde değerlendirilmesi yapılmıştır.
Syed Mohammed ve diğ.	2023	Bağlantı elemanları üretimi sektöründe	RULA	Riskleri azaltacak yöntemler bulmak ve yeni iş istasyonlarını tasarlamak amacıyla üç boyutlu modelleme programları kullanılmıştır.
Özcan	2021	Otomotiv üretim sektörü	- REBA - BAUA	İki yöntem arasında farklılıklar fark edilmiştir.
Ispasoiu ve diğ.	2021	Otomotiv üretim sektörü	QEC	Bu yöntem sonucunda konveyör bantlarda yapılan işlerde en çok risk görülen bölgeler boyun, el bileği ve sırt olarak belirlenmiştir.

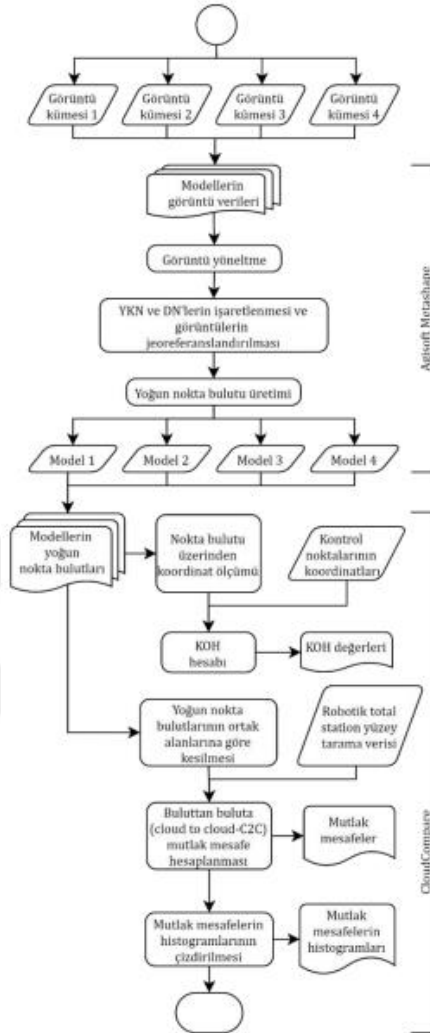
Çizelge 2.4 (devam) : Ergonomi analizi literatür incelemesi.

Yazar	Yıl	Çalışma Alanı	Yöntem	Sonuç
Mleczko ve Jasinska	2020	• Otomotiv üretim sektörü	• EAWS	• MTM-UAS ve EAWS alt yapısını kullanan TiCon'a yer vererek ergonomi ve dijitalleşmeyi bir araya getirmişlerdir. • Analiz ile sarı ve kırmızı renkli istasyonların bulunduğunu tespit edip, iyileştirilmesi üzerine çalışmışlardır.
Malaise ve diğ.	2019	• EAWS yönteminin dijitalleştirilmesi	• EAWS	• Giyilebilir sensörler üzerinden elde edilen veriler ile çalışanların duruş ve hareketlerini incelemişlerdir. • Eğitimde yer almayan katılımcıların da hareketlerini tanımlama da başarılı olmuştur
Ramadhani ve diğ.	2018	• Yolcu taşıma sektörü	• REBA	• Çıkan sonuçlara göre çalışanların kas ve iskelet rahatsızlıkları yaşama risklerini azaltacak önerilerde bulunulmuş ve iyileştirme yapılabilecek noktalar belirlenmiştir.
Özkaya ve diğ.	2018	• Mobilya üretimi sektörü	• OWAS	• Analizlere göre tesiste bulunan makinelerden beşi ergonomik açıdan riskli olarak değerlendirilmiştir

Çizelge 2.4 (devam) : Ergonomi analizi literatür incelemesi.

Yazar	Yıl	Çalışma Alanı	Yöntem	Sonuç
Bortolini ve diğ.	2018	Otomotiv üretim sektörü	EAWS	Derinlik kameraları kullanılarak hareketler ve duruşlar izlenip veriler EAWS yöntemi ile analiz edilmiş ve operatör sağlığı için risk teşkil eden işleri tespit etmeye çalışmışlardır.
Ayub Shah ve	2018	Ayakkabı ve tekstil üretimi	- QEC - RULA	- QEC ve RULA yöntemleri kıyaslanmıştır ve farklılıklar görülmüştür. - Bunun temel sebebi olarak da QEC yönteminde etkenler arasında psikolojik faktörlerin de bulunması ve bu maddelerin katılımcılar tarafından manipüle edilebilmesi olarak gösterilmektedir.
Bhardwaj ve diğ.	2017	İmalat sanayii	- QEC - RULA	Yaptıkları çalışmalarda her iki yöntem ile de işçilerin çalışma koşullarının yüksek risk barındırdıklarını belirlemişlerdir.
Erdinç	2015	QEC kullanımı	QEC	Makine ile dikiş işlemleri, kauçuk üretimi, yol yapımı sektörü, elektronik üretimi gibi çeşitli sektörlerde kullanılmıştır.
Yetim Gündüz ve	2015	Çalışma kaplarının taşıma süreci	- REBA - BAUA	- REBA ve BAUA ile hesaplanan puanlarda farklılık gözlemlenmiştir. - Daha çok güç ve vücut kullanılan işlerde BAUA yönteminin kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

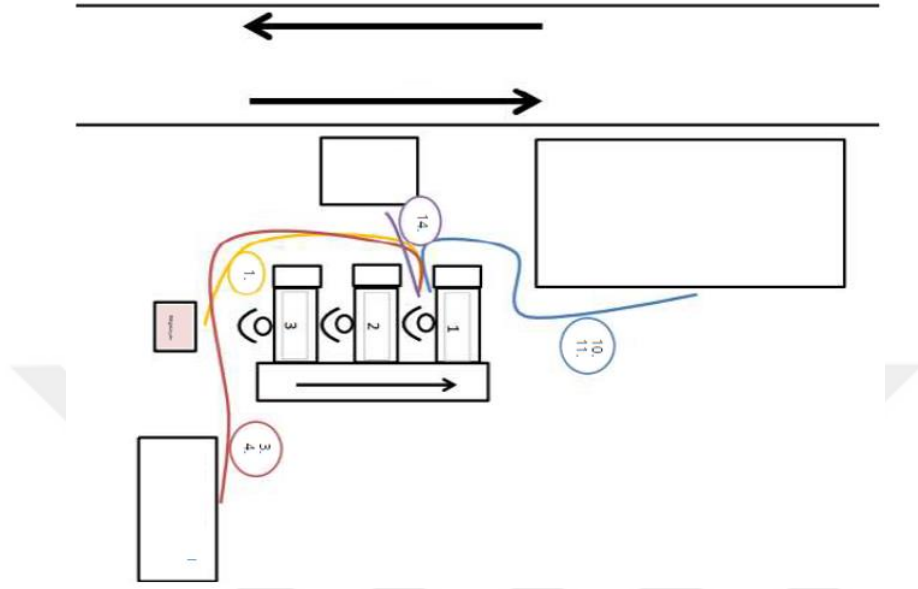
Literatürden örnek olarak bir akış şeması paylaşacak olursak, Şekil 2.4'te Seyrek ve diğ. (2022) tarafından yazılan bir makalede elde edilen verilerin nasıl işlendiğini görselleştirmek için oluşturulan akış şemasını inceleyebilirsiniz.



Şekil 2.4 : Örnek akış diyagramı (Seyrek ve diğ., 2022).

Üretimde mevcut durumu incelemek için kullanılan yöntemlerden bir diğeri de spaghetti diyagramıdır. Raikar ve diğ. (2015) atık hareketlerinin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması amacıyla yaptığı bir vaka çalışmasında spaghetti diyagramını, bir işi, süreç boyunca yolunu takip eden ve sürekli olan akış çizgisi kullanılarak görselleştiren gösterim olarak tanımlamışlardır. Bu sürekli akış çizgisinin iş akışında bulunan fazla işlerin ve süreç akışında geliştirilebilecek noktaların tespit edilebilmesini sağladığını belirtmişlerdir. Senderska ve diğ. (2017) tarafından otomotiv sektöründe çalışmakta olan bir tedarikçide yapılan çalışmaya göre çizim yapılırken farklı ürün, işçi ve teknik araçlar çizilirken, farklı renkler kullanarak aynı çizim üzerinden farklı kişi veya nesneler için hareket uzunlukları, hareket sayıları,

kesişen hareketler gibi özellikler belirlenebilir. Şekil 2.5'te de Dabrowska ve Maciejewska (2022) tarafından katalitik konvertörleri için boru üretimi sürecinde yapılan bir vaka çalışmasında geliştirme potansiyeli olan noktaları belirlemek için çizilmiş olan spaghetti diyagramı örneğini görebilirsiniz.



Şekil 2.5 : Üretimde hazırlanan spaghetti diyagramı örneği (Dabrowska ve Maciejewska, 2022).

Sojka ve Lepsik (2019) tarafından cam ve metal parçaların montajının yapıldığı bir atölyede yapılan bir çalışmada yine spaghetti diyagramı kullanılmış ve akışı sadeleştirmek için aksiyonlar belirlenmiştir. Aksiyonlara göre atölyenin yerleşim planı tekrardan değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda yeni yerleşim planı ve yolları kısaltmak amacıyla kırılan duvarlar sonrasında yeni spaghetti diyagramı çizilmiş ve diyagramın sadeleştiği gözlemlenmiştir. Daneshjo ve diğ. (2021) kapı panelleri ve kapı kolları üretimi yapan bir tesiste spaghetti diyagramı kullanarak durumu görselleştirmiş ve yapılan vaka çalışması sonrasında üretim boyunca hem çalışanların harcadığı zamanı hem de mesafeyi azaltırken üretilen ürün sayısını artırmıştır. Muri ve diğ. (2019) de türbin bileşenleri üreten bir fabrikada üretimde verimliliğin geliştirilmesi için yapılan bir çalışmada spaghetti diyagramı kullanarak hem çalışma öncesini hem de sonrasını incelemiştir. Çalışma başında bulunan katma değersiz ve verimli olmayan hareketler çıkartılarak yeniden düzenlenmiş ve çalışma sonucunda yalın üretim ölçütlerinde gelişmeler sağlamıştır.

Literatürdeki son yapılan çalışmaları incelediğimizde 5S ve MTM-UAS zaman etüdü yöntemi yalın üretim kapsamında iyileştirmeler yapılırken sıkça ön plana çıkmakta ve

bu yöntemler ile başarılı verimlilik ve süreç iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bunlara ek olarak EAWS ergonomi analizi yöntemi ile çalışanların ilerleyen zamanlarda kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının yaşanmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Spaghetti diyagramı, akış şeması, değer akışı haritalama gibi görselleştirme yöntemleri de mevcuttaki akış ve durumu daha iyi inceleyebilmek amacıyla yine sıklıkla çalışmalarda kullanılmaktadır. Biz de bu tez çalışması kapsamında literatürdeki görselleştirme ve mevcut durumu aktarma yöntemlerini de kullanarak, yalın üretim yöntemlerinin üretim alanında çalışanların ergonomisine de uygun bir şekilde uygulanmasını sağlamak amacıyla ergonomi analizi ile harmanlayıp çalışmamızı gerçekleştireceğiz.





3. YALIN ÜRETİM

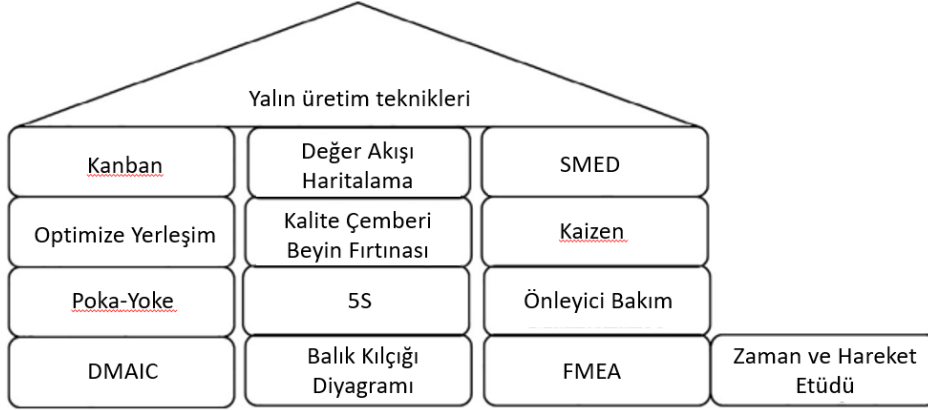
Yalın üretim sürekli iyileştirme felsefeleri arasında en çok bilinen yöntemlerden birisidir. Uzun yıllardır kullanılan bir yöntemdir ve birçok büyük firma tarafından günümüzde de kullanılmaktadır. Yamamoto ve diğ. (2019) makalesine göre yalın üretim, bir üretim süreci içindeki israfı agresif bir şekilde ortadan kaldırmayı amaçlayan sistematik bir üretim yöntemidir. Bhuiyan ve Baghel'e (2015) göre ise yalın üretimin amacı, mümkün olan en verimli ve ekonomik şekilde en kaliteli ürünleri üretirken, müşteri taleplerine daha yüksek düzeyde yanıt verebilmek için daha az insan çabası, daha az stok, ürün geliştirme için daha az zaman ve daha az alan sağlamaktır. Hata, maliyet, stok, müşteriden gelen memnuniyetsizlik gibi konuları minimize etmeye çalışan bir sistemdir. Palange ve Dhatrak (2021) tarafından yazılan makalede ise yalın üretim, nihai ürüne değer katmayan her türlü faaliyetin azaltılması veya mümkünse ortadan kaldırılmasıdır. Yalın üretim, mevcut üretim yöntemlerinin ve süreçlerinin maliyetini düşürme, kalite artışı, kâr artışı ve müşteri değerini en üst düzeye çıkarma yönünde mükemmelliğe ulaşmak için israfı azaltarak yeniden şekillendirme olarak tanımlanmıştır.

3.1 Yalın Üretimin Tarihi

Bhuiyan ve Baghel'in (2015) makalelerinde bahsettiği üzere yalın üretim ilk olarak Henry Ford tarafından otomotiv üretimi sektöründe seri üretime geçilmesi ile başlamış ve daha sonra Japonların bu sistemi benimseyip geliştirmesi ile devam etmiştir. Yamamoto ve diğ. (2019) araştırmalarına göre Taiichi Ohno tarafından oluşturulan Toyota üretim sistemi (TPS) genel müşteri değerini artırmak için yedi israfın azaltılmasına odaklanmış; Toyota sürekli olarak diğer üreticilerden daha fazla satış yapmış ve ürünleri, kalite ve güvenilirlik açısından anketlerde ve araştırmalarda en üst sıralarda yer almıştır.

3.2 Yalın Üretim Teknikleri

Yalın üretim metodunu kullanırken en temelde kullanılan teknikler aşağıdaki gibidir. Palange ve Dhatrik (2021) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Yalın üretim teknikleri (Palange ve Dhatrik, 2021).

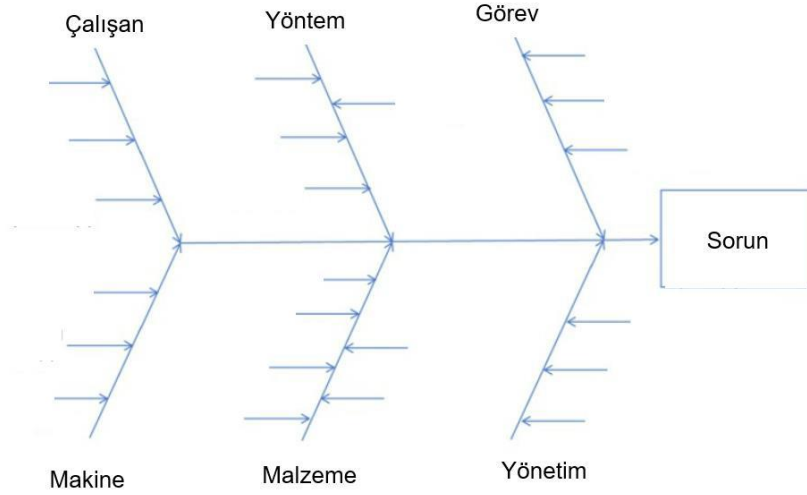
Şekil 3.1’de bulunan yöntemlerden önemli olan birkaçı aşağıda detaylı bir şekilde incelenecektir.

3.2.1 Kaizen

Kaizen, yalın üretim tekniklerinden birisidir. Palange ve Dhatrik (2021) yazdıkları makalede bu metodu sürekli iyileştirme ve çalışan katılımı ile sürekli gelişmenin sağlanacağı düşünülen Japon felsefesi olarak tanımlanmıştır. Bu yöntem önceki bölümlerde bahsedilen Toyota üretim sisteminin önemli parçalarından birisidir.

3.2.2 Neden etki diyagramları

Neden etki diyagramlarının diğer bir adı da balık kılçığı diyagramları ya da Japonca adıyla Ishikawa’dır. Palange ve Dhatrik’a (2021) göre bu araç, belirlenen sorunun temel nedenine ulaşmak için beyin fırtınası çalışması ile, sorunu etkileyen faktörleri grafiksel olarak temsil etmek için kullanılır. Şekil 3.2’de Carvalho ve diğ. (2021) tarafından yazılmış bir makalede verilmiş olan balık kılçığı diyagramının sadeleştirilmiş halinin bir örneği bulunmaktadır.



Şekil 3.2 : Balık kılçığı diyagramı (Carvalho ve diğ., 2021).

3.2.3 Hata modu etki analizi (FMEA)

Hata modları etki analizi olarak isimlendirilen bu yöntemde olası hataların gerçekleşme olasılıkları ve ortaya çıkaracakları etkinin büyüklüğü değerlendirilir. Palange ve Dhatrik (2021) çalışmalarında yaptıkları bir vaka uygulamasında arızanın ciddiyetine, meydana gelme sıklığına ve önceden tespit etme olasılığına dayalı olarak bunların risk öncelik sıralamasını bulmak amacıyla bağlantı kolu bileşenleri için hata modu etki analizi (FMEA) gerçekleştirilmiş ve risk öncelik numarası (RPN) sıralamasında ilk sıradaki bileşenin acilen değerlendirmeye alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

3.2.4 Poka-yoke

Üretim süreçlerinde karşılaşılabilecek olan problemleri ortaya çıkmadan engellemek amacıyla yapılan çalışmalardır. Palange ve Dhatrik'a (2021) göre insanlar hata yapmaya yatkındır ve eğer bu hata üretim sürecinde fark edilmezse daha sonra bir kusur olarak kendini gösterir ve bu durum kayıplara yol açacaktır. Kritik aşamalarda bazı cihaz veya sistemleri kullanarak bu hatalar önceden tespit edilebilirse hatasız ve katma değerli bitmiş ürüne doğru bir adım atılmış olacaktır.

3.2.5 SMED

Üretimde farklı modeller üretilirken kalıp ya da aparat değişiklikleri yapılması gerekmektedir. Değişim sürecinde harcanan süreler üretimde israf olarak

değerlendirilir. Çakmakçı ve Karasu (2007) tarafından yapılan çalışmada SMED için ekipman kurulumu ve değiştirme işlemlerini kısa sürede gerçekleştirmeyi mümkün kılan teori ve teknikler kümesi şeklinde bir tanım kullanmışlardır ve kurulum sürecini %90'a kadar azaltabileceğini belirtir. Bu sayede bu kayıp süreler ortadan kaldırılacak ve sistem yalın üretime daha çok yaklaşacaktır.

3.2.6 Kanban

Kanban **tipi** çekme sistemleri, üretimin yapılması için bilgi akışının sağlandığı üretim yöntemidir. Palange ve Dhatrak'a (2021) göre bu sinyal kartı yöntemi kullanılarak parçaların tedarikçiden zamanında çekilmesi ile stok miktarları azaltılarak israf ve maliyetlerin de düşüşe geçmesi sağlanır. Yamamoto ve diğ. (2019) makalesinde Kanban yöntemi kullanılarak çekme akışı kesintisiz ve istenen mükemmellikte uygulandığı zaman stok ihtiyacının azalacağını belirtmişlerdir.

3.3 JIT

Bhuiyan ve Baghel'in (2015) makalelerinde, talepteki değişikliklere esnek bir şekilde uyum sağlamak amacıyla fabrikalarda sürekli bir ürün akışını sürdürmek üzere tam zamanında (JIT) üretim akışı tasarlandığı belirtilmiştir. Yamamoto ve diğ. (2019) araştırmasında ise Ohno tarafından gereksiz aşırı üretimden kaçınılması için üretim planlamada hedef odaklı itme yerine siparişe göre inşa etmek amacıyla kanban veya çekme kavramı uygulaması gerekliliğinin vurgulandığından ve bu çekme sisteminin tam zamanında üretim (JIT) olarak adlandırıldığından bahsedilmektedir.

3.4 Üretimde İsraf

Üretim süreçlerinde gerçekleşen israflar için Japonca'da "muda" kelimesi kullanılmaktadır. Üretim sırasında gerçekleşen israflar üretim sistemini yalın üretimden uzaklaştırmaktadır. Bhuiyan ve Baghel'in (2015) makalelerinde bahsettiği üzere yalın üretimin amacı, üretimin her alanında israfın ortadan kaldırılmasıdır ve müşteri ilişkilerini, ürün tasarımını, tedarikçi ağlarını ve fabrika yönetimini içerir. Yamamoto ve diğ. (2019) makalesine göre yalın yolculuğa başladığınızda değer akışını iyileştirmenin önemli yollarından biri israfı ortadan kaldırmaktır ve yalın üretimde israf, üç ana israf türü olarak tanımlanır: muda (israf), mura (düzensizlik) ve muri (aşırı yük). Bunlara ek olarak da Palange ve Dhatrak (2021) yazdıkları makalede

israfları dört ana aşamada gerçekleşecek şekilde ayırmıştır. Bu kategoriler ürünün taslak aşaması, ürünün tasarım aşaması, üretim aşaması ve iletişim aşamasıdır.

Üretimde israflar temelde 7 ana başlık altında toplanmıştır. Yamamoto ve diğ. (2019) makalelerinde bu yedi israfı taşıma, bekleme süresi, aşırı üretim, hatalı üretim, stok, hareket ve aşırı işleme olarak isimlendirmişlerdir. Üretim proseslerinde gerçekleşmekte olan bu yedi israfın ortaya çıkmasının ana sebeplerini Palange ve Dhatrak (2021) makalelerinde optimize edilmemiş yerleşim planları ve operasyon sırası, yanlış donanım seçimi, işlerin makine ve ekipmanlar arasında yapılabilirlik göz önüne alınarak paylaştırılmaması, yüksek kapasiteli makinelerin yeterince doldurulmaması, yüksek çevrim süreli makineler, rötuş işlemleri, hatalı üretimler ve çok sık yapılan denetlemeler olarak belirtmektedir.

3.5 Stok

Stok, firmaların üretime hazır bulunması amacıyla elinde tuttuğu hammadde, yarı mamul ya da bitmiş üründür. Stok, Ohno tarafından belirlenmiş olan yedi israftan birisidir ve fazla stok tutmak yalın üretim ilkelerine aykırıdır. Yamamoto, ve diğ. (2019) göre büyük stok miktarları firmalarda meydana gelen dengesizliklerin, ekipmanlarda meydana gelecek problemlerin, arızaların ya da yanlış iş yönetimi gibi problemlerin üzerinin örtülerek tespit edilememesine sebep olur. Bu problemlerin gizlenmesi sürecin iyileştirilmesini engelleyerek üretim sürecinin yalın üretimden uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, firmaların stok tutması finansal kaynaklarını da buraya ayırması anlamına gelmektedir. Firmalar için bu kaynakları sağlamanın belirli maliyetleri olduğundan hem bu finansal kaynaklarını stokları tuttukları sürede gerekli olan başka alanlarda kullanamamakta hem de olası hasar görme, eskime, bozulma ya da kalite hataları gibi risk içeren durumlarda finansal kaynaklarından olarak firma için israf gerçekleşmektedir. Bu nedenlerden dolayı firmalar depolarında veya proseslerin içerisinde stoklarını mümkün olduğunca azaltarak üretim süreçlerini iyileştirmeye çalışmaktadır.

Üretimin devamlılığı için firmalar tarafından emniyet stoğu da tutulmaktadır. Persona ve diğ. (2007) yazdığı makaleye göre firmalar olası ürün tedariği problemi ve süreç ve müşteri talebi hakkında ortada bulunan belirsizliği yok etmek ve olası müşteri memnuniyetsizliklerinin önüne geçebilmek amacıyla emniyet stoğu tutmaktadır. Inderfurth ve Minner (1997) ise makalelerinde belirsizliklerin, rastgele olan verimler,

müşterilerin belirsiz olan talep miktarları veya proseslerde gerçekleşen sürelerin değişkenliğinden kaynaklanabileceğini ve bu belirsizliklere karşı riskleri ortadan kaldırmak için fazla talebe göre işlem yapılması, emniyet stoğu ya da emniyetli zaman planlaması gibi işlemler yapılmaktadır.

Azzi ve diğ. (2012) tarafından yazılan makalede stok tutma maliyetlerinin hesaplanması konusunda bir vaka çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada stok tutma tipini manuel stok tutma ve otomatik stok tutma maliyeti olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Manuel stok tutmada maliyetlerin sadece bir kısmı kolayca ölçülebilir ve maliyetler içinde belirli, yarı belirli ve gizli maliyetler bulunmaktadır. Çizelge 3.1’de bütün maliyetler görülebilir.

Çizelge 3.1 : Manuel stok tutma maliyetleri çizelgesi (Azzi ve diğ.,2012).

Maliyet tipi	Maliyet sebebi
Belirli Maliyetler	Zemin kullanımı
	Enerji
	Temizlik
	Gözetim
	Sigorta
	Vergiler
	Malzeme taşıma ekipmanları
	Depo yönetim sistemi ekipman ve yazılımları
	Bakım
	Doğrudan işçilik
Yarı Belirli Maliyetler	Eskime
	Ürün hasarı
	Ürün amortismanı
	Ürünün bozulması
	Dolaylı olan emek ve denetimler
Gizli Maliyetler	Stok listesi takibi
	Yıl içerisindeki denetimler ve stok sayımı
	Yeniden üretim
	Yeniden paketleme ve yeniden etiketleme
	Kayıp satışlar ve siparişlerin birikmesi

Stok hesabı yaparken üretimin devamlılığının sağlanması amacıyla bir önceki bölümde bahsedilen sebeplerden dolayı stok tutulması her ne kadar yalın üretim mantığına uymasa da firmalar tarafından uygulanmaktadır. Üretimin devamlılığı için yapılan stok hesaplarında farklı çalışmalar bulunmakta ve bunlarda farklı parametreler üzerinde yoğunlaşmaktadır.

İlk olarak Inderfurth ve Minner (1997) yaptıkları emniyet stoğu çalışmalarında yaptıkları hesaplarda parametre olarak stok noktası sayısı, proses zamanları, stokta tutma maliyetleri, tekrardan yerini doldurma süreleri, talep miktarları, talep değişkenliğinin standart sapması, emniyet faktörü ve emniyet stoğu süresini kullanmışlardır İkinci olarak Persona ve diğ. (2007) makalesine baktığımızda da bir önceki paragrafta bahsedilen makaledeki gibi talep değişkenliği incelenmiş, ilk belirlenen emniyet stoğu miktarının farklı taleplerdeki kullanımı ve bu stok yönetiminin maliyeti incelenerek bir sonuca ulaşılmıştır. Son olarak Tuzkaya ve Aksu (2013) tarafından yapılan çalışmaya bakarsak, Kanban üretim sistemi için stok hesabı yapmışlardır. Bu hesaba göre yerini doldurma stoğu, lot miktarı stoğu, günlük stok dalgalanması sebebiyle oluşan en yüksek stok, zaman boşluğu stoğu ve emniyet stoğu olmak üzere beş stoğun birleşimi olarak stok belirlenmiştir. Buradaki hesapta kullanılan parametreler günlük çalışma süresi, çevrim süreleri, lot miktarı, kanbandaki parça sayısı, müşteri ve tedarikçinin model değişimleri ve emniyet stoğu için kaynak, müşteri talebi ve belirsiz problemler için emniyet katsayılarıdır.

3.6 Sürekli İyileştirme

Sürekli iyileştirme firmaların süreçlerini geliştirmek amacıyla uyguladığı felsefedir. Bhuiyan ve Baghel'e (2015) göre süreçlerde başarıyı artıran ve sorunları ortadan kaldıran bu felsefe, firmalar tarafından yaratıcılığı artırma ve firmalarla olan pazar rekabetinde firmanın süreçlerini iyileştirerek, israfı ortadan kaldırarak avantaj elde edebilme kültürüdür. Bu iyileştirmeler için büyük masraflar yapılmaz. Bu sürekli iyileştirme çalışmaları süreç sonunda ortaya çıkan çıktıların veya sürecin genel maliyetini azaltmak amacıyla yapılabilir.

Eğer tarihinden de bahsedecek olursak sürekli iyileştirme çalışmaları Bhuiyan ve Baghel'in (2015) makalesinde bahsettiği üzere firmaların çalışanlarını iyileştirme süreçlerine daha çok dâhil etme çabalarının ve onları teşvik etmeleri ile 1800'lü yıllarda ortaya çıkmış ve bugün bütün firmalarda rekabet avantajı elde etmek için uygulamaya koyulmuştur. Sürekli iyileştirmenin en temelindeki üç yöntem altı sigma, kurumsal karne ve yalın üretimdir. Önceki kısımlarda detaylı olarak bahsedilen yalın üretim dışında diğer yöntemler hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

3.6.1 Altı sigma

Altı sigma yöntemi süreci istatistiksel olarak kontrol altına almayı ve süreçleri iyileştirmeyi sağlayan sürekli iyileştirme yöntemidir. Bhuiyan ve Baghel (2015) makalelerinde altı sigma yöntemi ile ilgili olarak bu yöntemin 1900'lü yılların sonuna doğru Motorola firmasının, kalite süreçlerinde bu istatistik yöntemini kullanarak iyileştirme sağlayıp, kalite hatalarını azalttıktan sonra satışlarını katlaması ile yaygınlık kazandığından bahsetmektedirler. Bu yöntemin istatistiksel olmasından dolayı veriler kullanılarak gerçeğe yakın bir değerlendirme yapılabilir. Bu bilimsel yöntemle kalite hatalarını istatistiksel olarak istenen seviyeye indirmek ve iyileştirmek hedeflenir.

3.6.2 Kurumsal karne

Bhuiyan ve Baghel'a (2015) göre bu yöntem de yine altı sigma yöntemi gibi 1900'lerin sonunda ortaya çıkmıştır. İyileştirme yapma amacı ile firmanın çeşitli amaçlarını farklı açılardan ölçümlere hedeflere dönüştürülmesini sağlayan ve firmanın ölçülebilir olan hedeflerine ulaşp ulaşmadığını, performans gelişimlerini kontrol eden bir sürekli iyileştirme yöntemidir. Günümüzde büyük firmaların çoğu bu yöntemi süreçlerini iyileştirmek ve müşteri memnuniyetini artırarak rekabette öne çıkmak amacıyla kullanarak kendi performanslarını değerlendirebilmektedir.

3.7 Ergonomi Analizi Yaklaşımları

Literatür yöntemi kısmında bulunan ve en çok kullanılan yöntemler hakkında bir sonraki bölümlerde bilgi verilecektir.

3.7.1 RULA

İlk olarak RULA yönteminden bahsedecek olursak, Syed Mohammed ve diğ. (2023) yazdığı makaleye göre McAtamney and Corlett tarafından 1993 yılında boyun ve gövde gibi üst vücut bölümleri için duruştan kaynaklanan riski değerlendirmek amacıyla oluşturulmuş olan yöntemdir. Vücudun bölümleri A ve B olarak ayrılarak analiz yapılır ve iki ayrı analiz sonucu elde edilen değerler ile bulunacak risk puanı üzerinden aksiyon alınır. Bhardwaj ve diğ. (2017) tarafından yazılan makalede RULA yöntemi kullanılarak yapılan puanlama sonucunda Çizelge 3.2 kullanılarak alınacak olan aksiyonun belirlenebileceği belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 : RULA yöntemine göre alınacak aksiyonlar (Bhardwaj ve diğ.,2017).

RULA Skoru	Gerekli Aksiyon
1-2	Uzun sürede tekrarlı değil ise duruş kabul edilebilir
3-4	Detaylı inceleme ihtiyacı var ve değişiklik gerekebilir
5-6	Bir an önce inceleme ve değişiklik gerekli
7+	Hemen inceleme ve değişiklik gerekli

3.7.2 QEC

İkinci yöntem olarak literatürde en sık kullanılan yöntemlerden birisi olan QEC yöntemi için Erdinç (2015) tarafından yazılan makalede bu yöntemin 1999 yılında Surrey Üniversitesi'nde geliştirildiği ve temel amacının çok farklı sektör ve çalışma ortamında geçerli, güvenilir ve pratik bir ergonomik risk değerlendirme yöntemi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yöntemin etkili ve kullanımı kolay olduğunu fakat çalışanların özel girdileri sebebiyle yanıltıcı sonuçlar çıkarabileceğini bildirmiştir. Bahsedilen bu olumsuz durumdan dolayı bu yöntemin farklı yöntemlerle kıyaslanması gerekliliği literatür taraması kısmında da görülmüştür. Washington Devlet İş ve Sanayi Kurumu (t.y.) tarafından QEC referans el kitabı yayınlanmıştır ve bu el kitabında aşağıdaki şekilde örnek sorular bulunmaktadır.

A-Görevi gerçekleştirirken, sırt...?

- A1 - Neredeyse nötr pozisyonda
- A2 - Orta derecede gerilmiş veya burulmuş veya yana doğru bükülmüş
- A3 - Aşırı gerilmiş veya burulmuş veya yana doğru bükülmüş

H - Sizin tarafınızdan manuel olarak taşınan maksimum ağırlık ne kadar?

- H1 - Hafif (5 kg ya da daha az)
- H2 Orta (6 – 10 kg)
- H3 Ağır (11 – 20 kg)
- H4 Çok ağır (20 kg'dan daha fazla)

Yukarıda örnek olarak paylaşılan anket sorularına verilecek cevaplara göre, yine aynı el kitabında bulunan, Çizelge 3.3'teki matris kullanılarak yapılan iş için risk puanı tespit edilebilir.

Çizelge 3.3 : QEC puan matrisi (Washington Devlet İş ve Sanayi Kurumu, t.y.).

H	A		
	A1	A2	A3
H1	2	4	6
H2	4	6	8
H3	6	8	10
H4	8	10	12

Yukarıdaki puanlama matrisini bütün sorular için tamamladıktan sonra belirli bir risk puanı hesaplanır. Bhardwaj ve diğ. (2017) tarafından yazılan makalede QEC yönteminde elde edilen bu risk puanını kullanarak Çizelge 3.4'te bulunan aksiyonların alınabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 3.4 : QEC değerlendirme çizelgesi (Bhardwaj ve diğ., 2017).

QEC (%)	Risk Seviyesi	Öneri
<%40	Kabul edilebilir risk	Kabul edilebilir duruş
%40- 49	Orta seviye risk	Detaylı inceleme ihtiyacı var ve değişiklik gerekebilir
%50-69	Yüksek risk	Bir an önce inceleme ve değişiklik gerekli
> %70	Çok yüksek risk	Hemen inceleme ve değişiklik gerekli

3.7.3 REBA

Hignett ve McAtamney (2000) yazdıkları makalede REBA yönteminin çalışanın vücut, kol, bacak, omuz, dirsek ve bileklerinde meydana gelen kuvvetlerin ve çalışma süresince çalışanın duruşunun hem statik olarak hem de dinamik olarak değerlendirildiği bir ergonomik analiz yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Özcan (2021) yazdığı makalede bu yöntemde vücudun Grup A ve Grup B olarak ikiye ayrıldığını ve Grup A için vücut, boyun bacak; Grup B için üst kol, alt kol ve bileklerin dahil edildiğini belirtmektedir. Şekil 3.3'te REBA değerlendirme sayfalarını inceleyebiliriz. Şekildeki çizelgeler detaylı bir şekilde ilerleyen çizelgelerde paylaşılacaktır.

a Trunk, neck and leg analysis

Step 1: Local trunk position

Trunk score:

Step 1a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

Step 2: Local neck position

Neck score:

Step 2a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

Step 3: Legs

Leg score:

Step 3a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

Step 4: Look-up posture score Table A
Using values from steps 1-3 above, Locate score in Table A

Step 5: Add force/load score
If load < 5 kg: +0
If load: 5 to 10 kg: +1
If load > 10 kg: +2
Adjust: If shock or rapid build up of forces: Add +1

Step 6: Score A, find row in Table C
Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A. Find row in Table C.

Scoring
1 = Negligible risk
2 - 3 = Low risk. Change
4 - 7 = Medium risk. Further investigate. Change soon.
8 - 10 = High risk. Investigate and implement change.
11 + = Very high risk. Implement change.

Table A

		Neck												
		1				2				3				
Trunk posture score	Legs	1				2				3				
		1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
		2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
		3	3	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
		4	4	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	5	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9		

Table B

		Lower arm						
		1			2			
Upper arm	Wrists	1			2			
		1	1	2	3	1	2	3
		2	1	2	3	2	3	4
		3	3	4	5	4	5	6
		4	4	5	6	5	6	7
5	6	7	8	8	9	9		

Table C

		A Score											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B score	1	1	1	1	2	3	3	4	4	5	6	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	11	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

b Arm, wrist and analysis

Step 7: Local upper arm position

Upper arm score:

Step 7a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Step 8: Local lower arm position

Lower arm score:

If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

Step 9: Local wrist position
If wrist is bent from midline: Add +1

Wrist score:

Step 10: Look-up posture score in Table B
Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B.

Step 11: Add coupling score
Well fitting handle and mid rang power grip: good: 0
Acceptable but not ideal hand or coupling acceptable with another body part: fair: +1
Hand hold not acceptable but possible: poor: +2
Unacceptable: +3

Step 12: Score B, find column in Table C
Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B, find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C score.

Step 13: Activity score
+11 or more body parts are held for longer than 1 minutes (static)
+1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
+1 Actions causes rapid large range changes in postures or unstable base

Table C score: + Activity score: = REBA score:

Şekil 3.3 : REBA değerlendirme sayfası (Özcan, 2021).

Yetim (2015) tarafından yapılan çalışmalarda gövde, boyun ve bacaklar için yukarıdaki değerlendirme sayfasında da bulunan skor hesaplama yöntemi kullanılarak, Çizelge 3.5'ten yardım alarak A skoru; üst kol, alt kol ve bilekler için de Çizelge 3.6 yardımıyla B skoru hesaplanır. Daha sonra bu iki skor ve Çizelge 3.7 ile C skoru hesaplanarak risk puanı bulunmuş olur.

Çizelge 3.5 : REBA A çizelgesi (Yetim, 2015).

		BOYUN											
GÖVDE		1				2				3			
		BACAKLAR				BACAKLAR				BACAKLAR			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1		1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2		2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3		2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4		3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5		4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Çizelge 3.6 : REBA B çizelgesi (Yetim, 2015).

ÜST KOL	ALT KOL					
	1			2		
	BİLEK			BİLEK		
	1	2	3	1	2	3
1	1	2	3	1	2	3
2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9

Çizelge 3.7 : REBA C çizelgesi (Yetim, 2015).

A SKORU				B SKORU								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Aşağıdaki Çizelge 3.8’de hesaplanan risk puanları ve bu puanlara denk gelen risk seviyesi ve önlemleri inceleyebiliriz.

Çizelge 3.8 : REBA risk değerlendirme çizelgesi (Yetim, 2015).

Derece	REBA skoru	Risk seviyesi	Önlem
0	1	İhmal Edilebilir	Gerekli Değil
1	2- 3	Düşük	Gerekli Olabilir
2	4- 7	Orta	Gerekli
3	8- 10	Yüksek	Kısa Zaman İçerisinde Gerekli
4	11- 15	Çok Yüksek	Hemen Gerekli

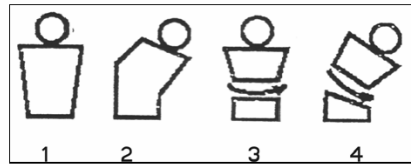
3.7.4 OWAS

Ramadhani ve diğ. (2018) makalesine göre OWAS (Ovako Work Posture Analysis System), çalışanların iş süreçlerinde güvenli olmayan vücut duruşlarını belirtmek ve bu yöntemleri analiz etmek için 1981 yılında Finlandiyalı Karhu tarafından tasarlanan, çeşitli duruşları inceleyen yöntemdir. Özkaya ve diğ. (2018) tarafından yazılan makaleye göre OWAS yönteminin sonucu belirlenen risk puanına göre dört gruba ayrılmaktadır. Kategoriler Çizelge 3.9'daki gibidir.

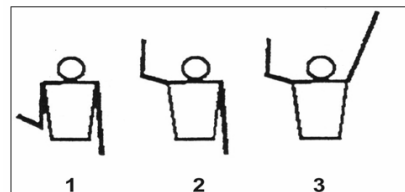
Çizelge 3.9 : OWAS risk kategorileri (Özkaya ve diğ., 2018).

Kategori	Açıklama
Kategori 1	Kas ve iskelet sistemi üzerinde zararlı bir etki yoktur.
Kategori 2	Kas ve iskelet sistemi üzerinde bazı tehlikeler vardır.
Kategori 3	Kas ve iskelet sistemi üzerinde zararlı etkiler vardır. Bir an önce müdahale edilmeli.
Kategori 4	Kas ve iskelet sistemi üzerinde çok fazla zararlı etkiler vardır. Hemen müdahale edilmeli.

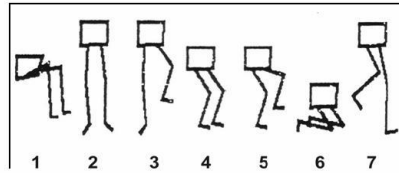
İncelenen çalışma istasyonları belirli sorular üzerinden değerlendirilerek risk puanı hesaplanır. Bu sorular değerlendirilirken aşağıdaki şekillerde belirtilen vücut duruşları olup olmadığı kontrol edilir. Sonuç olarak elde edilen risk puanı ile yukarıdaki kategorinin açıklamasına göre önlem alınmalıdır. Aşağıda Şekil 3.4'te sırt duruş çeşitleri, Şekil 3.5'te kol duruş çeşitleri ve Şekil 3.6'da bacak duruş şekilleri incelenebilir.



Şekil 3.4 : OWAS sırt duruş çeşitleri (Ramadhani ve diğ.,2018).



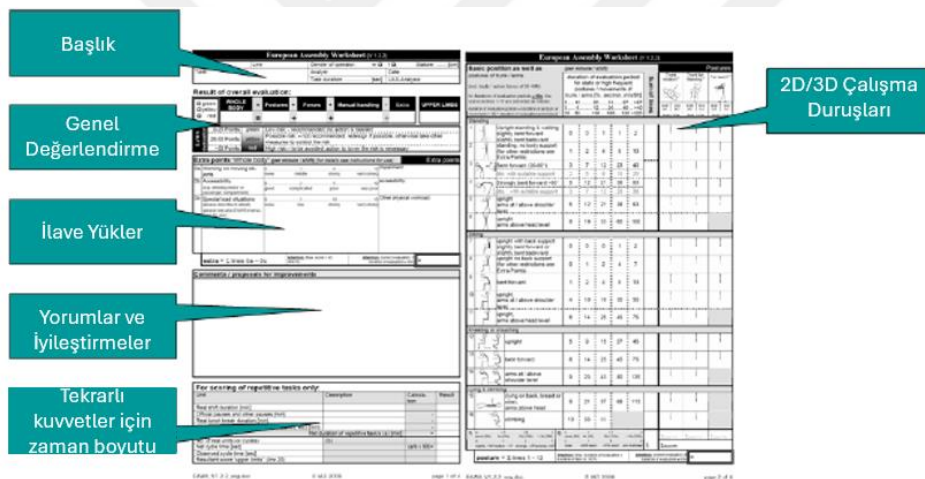
Şekil 3.5 : OWAS kol duruş çeşitleri (Ramadhani ve diğ.,2018).



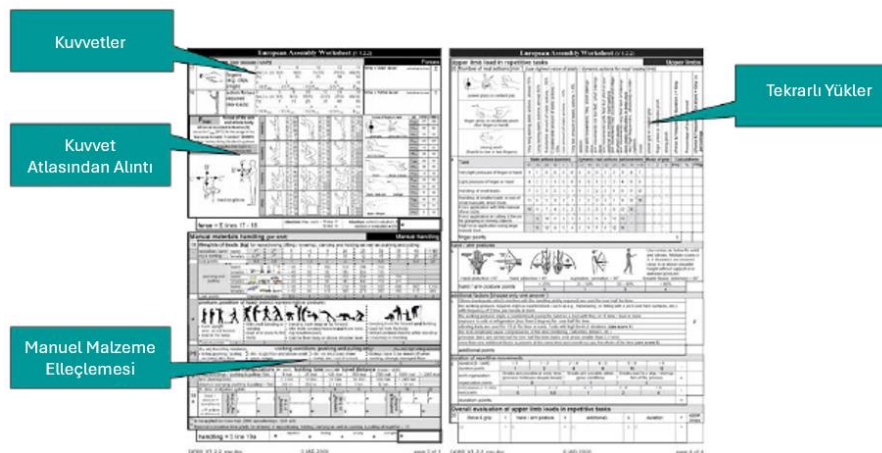
Şekil 3.6 : OWAS bacak duruş çeşitleri (Ramadhani ve diğ.,2018).

3.7.5 EAWS

Fischer ve diğ. (2023) göre EAWS yöntemi kapsamlı ve özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmakta olan, çalışma duruşlarının ve çalışma şartlarını değerlendirmek amacıyla ortaya çıkan bir ergonomik analiz ve değerlendirme yöntemidir. Schaub ve Bruder (2012) makalesinde EAWS için fiziksel iş yüküne göre puanlar verip ortaya çıkan puana göre kırmızı, sarı ve yeşil olarak renklendirerek risk için bir şema yarattığını söyler. Aşağıdaki Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de EAWS yapısı ve bölümlerinin olduğu 4 sayfa bulunabilir.



Şekil 3.7 : EAWS yapısı 1. ve 2. Sayfası (Schaub ve Bruder, 2012).



Şekil 3.8 : EAWS yapısı 3. ve 4. Sayfası (Schaub ve Bruder, 2012).

Üstteki şekillerde bulunan sayfalarda yapılan değerlendirmeler sonucunda her kısım için elde edilen puanlar aşağıdaki şekilde yerlerine yazıldıktan sonra bir toplam puan elde edilir ve bu puan sonucunda risk değerlendirmesinin sonucu ortaya çıkar. Şekil 3.9'da değerlendirme tablosu ve bu tablo sonucunda çıkan değere göre alınacak olan renk seviyesi incelenebilir.

☐ Yeşil ☐ Sarı ☐ Kırmızı	BÜTÜN VÜCUT	=	Duruşlar	+	Kuvvetler	+	Manuel Elleçleme	+	İlave	Üst Uzunlar
		=		+		+		+		

EAWS değerlendirme	0-25 Puan	yeşil	Düşük risk: önerilir ve aksiyon gerekmez
	26-50 Puan	sarı	Olası risk: önerilmez, mümkünse yeniden tasarlanmalı, aksi takdirde riski kontrol etmek için diğer ölçümler alınmalı
	>50 Puan	kırmızı	Yüksek risk: kaçınılmalı ve riski azaltacak aksiyonlar gereklidir

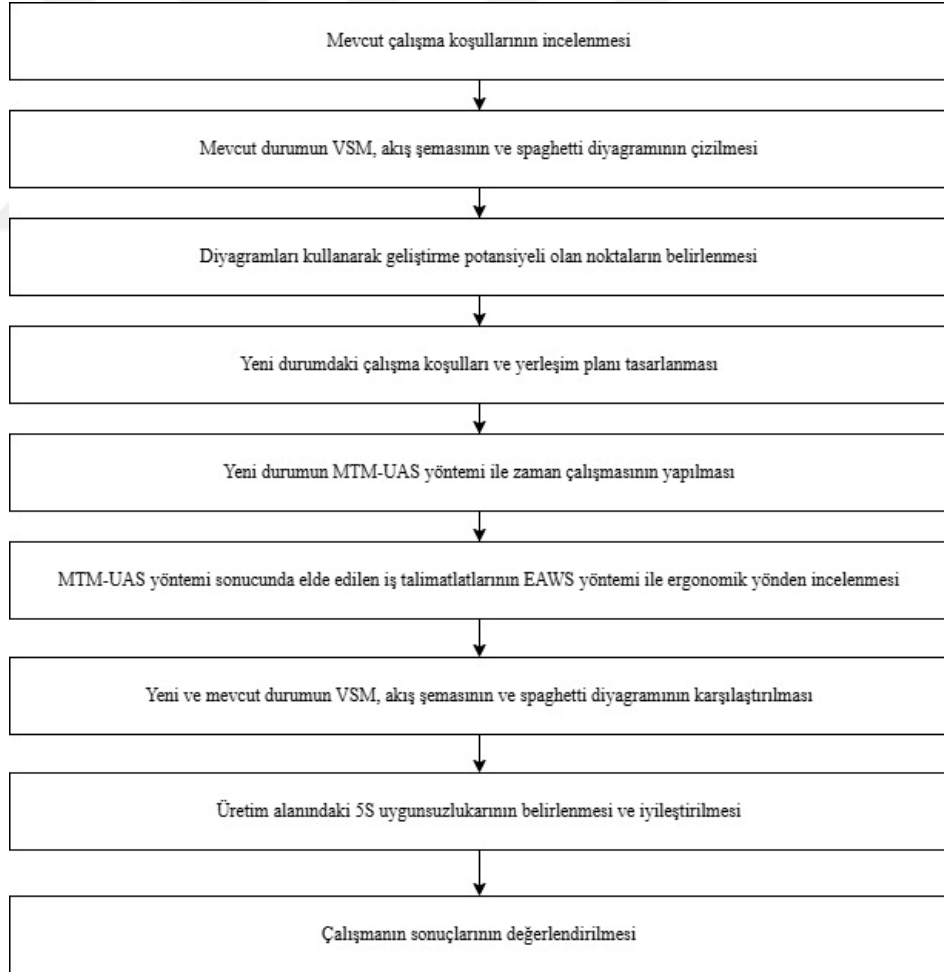
Şekil 3.9 : EAWS değerlendirme bölümü (Schaub ve Bruder, 2012).

25 puanın üstünde puanlanan istasyonlar sarı veya kırmızı renkli olarak renklendirilir ve bu istasyonlar ergonomik açıdan uygun olmadığı şeklinde değerlendirilir. Bu istasyonların kısa süre içerisinde ergonomik risk skorlarını azaltıp yeşil renkli istasyona dönüştürerek çalışan kas ve iskelet sağlığını koruyacak şekilde aksiyon planları hazırlanmalıdır.



4. ÖNERİLEN TASARIMDA KULLANILAN METODOLOJİ

Bu tez çalışması süresince çalışanların çalışma zamanlarını inceleyebilmek, ergonomik koşullarını inceleyebilmek ve çalışanların çalışma ortamını iyileştirmek amacıyla literatür taraması kısmında incelenen ve uygunluğu kontrol edilen yöntemler kullanılacaktır. Çalışmanın amacına göre ilk durum ve son durum da görselleştirilerek çalışmanın amacına uygun olup olmadığının kontrolü yapılacak ve sonuçlar ile çalışmanın amacına uygun bir şekilde tamamlanıp tamamlanmadığının kontrolü yapılacaktır. Şekil 4.1’de bu tez çalışması kapsamında incelenecek olan yol haritasının görselleştirilmiş halini bulabilirsiniz.



Şekil 4.1 : Metodolojide izlenecek olan adımlar.

4.1 Diyagramlar ve Haritalamalar

Bu tez çalışması kapsamında üç adet diyagram ve haritalama yöntemi kullanılacaktır. İlerleyen başlıklarda kullanılması planlanan yöntemler hakkında bilgi verilecektir.

4.1.1 Akış şeması

İlk olarak çalışma alanındaki durumu inceleyebilmek amacıyla üretim alanındaki akışın şemasının çıkartılması planlanmıştır. Akış şeması diyagramında bulunan adımlar bu alandaki akışın uzunluğu hakkında bize bilgi verecektir. Ayrıca alanda ve akışta geliştirilebilecek ve iyileştirilebilecek olan potansiyel noktaların incelenmesi ve betimlenmesi konusunda bu diyagram bize destek olacaktır. Bu grafik oluşturulurken çeşitli semboller kullanılır ve her sembol bu şemada başka bir anlam içermektedir. Şekil 4.2’de Çalışkan ve Arpacıoğlu (2024) tarafından yapılan çalışmada bulunan akış diyagramı sembolleri incelenebilir.

Başlangıç Noktası	Süreç	Karar Noktası
		
Süreç Akışı	Veri Akışı	Belgeleme
		
Veri Tabanı	Bağlantı Noktası	İç Depolama
		

Şekil 4.2 : Akış diyagramı sembolleri (Çalışkan ve Arpacıoğlu, 2024).

Bu semboller kullanılarak çizilecek olan akış şemaları ile sürecin görselleştirmesi tamamlanıp inceleme başlatılabilir. Bu diyagram yardımıyla geliştirmeye açık potansiyel noktalar belirlenip iyileştirilebilir. Tez çalışması sonrasında üretim alanında gerçekleşecek olan yeni çalışma düzeni, potansiyel israf noktalarının belirlenip sadeleştirilmesi sonrasında oluşturulmuş olacaktır. Bu sadeleştirme sonrasında elde edilen akış şemasında, kontrol edilmesi gereken ergonomik durum ve çalışanların belirlenen görevlerini yapmaları için gereken süre gibi konuların da analizi ilerleyen kısımlarda anlatılacak yöntemler ile yapılacaktır. Üretim alanında gerçekleşen iyileştirmeleri inceleyebilmek amacıyla iki akış şeması da yan yana getirilecek ve sadeleştirme gözlemlenebilecektir.

4.1.2 Spaghetti diyagramı

Üretim alanı içerisindeki akışı görselleştirmek amacı ile akış şemasına ek olarak spaghetti diyagramı kullanılacaktır. Bu amaç doğrultusunda literatür taraması bölümünde de belirtildiği gibi üretim alanının yerleşim planı üzerinde çalışan hareketlerini gösterecek şekilde yapılacaktır.

Bu amaçla ilk önce üretim alanında çalışmakta olan işçilerin çalışma alanları ve çalışma rotaları incelenecek ve bu rotalar daha sonra yerleşim planına işlenecektir. Daha sonra planlanan tez çalışması sonrası durum da aynı şekilde yerleşim planına işlenerek iki spaghetti diyagramı karşılaştırılacaktır. İki spaghetti diyagramı arasındaki farklılıkları gözlemleyerek üretim alanındaki gelişmeyi inceleme fırsatı sunulacaktır.

4.1.3 VSM

Alandaki akışı inceleyebilmek ve genel çerçeveden bakabilmek için VSM çok önemli bir yöntemdir. VSM tedarikçiden müşteriye kadar uzanan ve bütün sürecü birlikte görebileceğimiz bir yöntemdir. Bu yöntem bütün akışı inceleyecek olan yalın üretim çalışmaları için faydalı bir yöntem olarak tercih edilebilir. Fakat biz bu çalışma kapsamında fabrikanın içerisinde bulunan sadece bir alanın iyileştirilmesi için çalışacağımızdan bütün VSM yöntemi uygulanmayacaktır. Sadece bu üretim alanındaki özellikleri görebilmek amacı ile fabrikanın veri gizliliğine dikkat ederek, fabrikanın geneli için hazırlanan VSM içerisinde iç kapı üretim alanı için hazırlanmış olan VSM veri kartı paylaşılacaktır.

Hazırlanacak olan VSM kartında takt süresi, çevrim süresi, proses süresi, proses operasyon zamanı (POT), çalışan sayısı, vardiya sayısı, OEE, varyant sayısı, hurda oranı ve kalıp değişim süresi hakkında bilgiler bulunmaktadır. Tez çalışmasının yapıldığı alan için veri kartı çizelgesi Çizelge 4.1'deki gibi verilmiştir. VSM, hazırlandıktan sonra iç kapı üretim alanı hakkında genel olarak bilgi sahibi olmamızı ve alanın özelliklerini anlamamızı sağlayacaktır. Literatür taramasında da belirtildiği gibi çalışma sonrasında gelecek durum haritası da hazırlandıktan sonra alandaki gelişme de bu iki çizelgenin incelenmesi ile görülebilir ve anlaşılabilir olacaktır.

Çizelge 4.1 : VSM veri kartı.

İç kapı üretim alanı	
Takt süresi	saniye
Çevrim süresi	saniye
Proses süresi	dakika
POT	dakika
Çalışan Sayısı	adet
Vardiya Sayısı	adet
OEE	%
Varyant Sayısı	adet
Hatalı Üretim Oranı	%
Kalıp değişim süresi	dakika

4.2 MTM-UAS Zaman Çalışması

Çalışmada hareketlerin zaman karşılıklarının elde edilmesi sürecinde MTM Birliği tarafından hazırlanmış olan veri kartında bulunan çizelgelerden yararlanılacaktır. Yeni çalışma yöntemi için belirlenen hareketlerin MTM-UAS yöntemindeki hareket kodları karşılıkları çıkartılarak çizelgelerden bu hareket kodlarına karşılık gelen zaman ölçüm birimi (TMU) değeri alınacaktır.

Bütün hareketler için TMU değerleri elde edildikten sonra TMU değerleri toplanacak ve TMU değerine karşılık gelen zaman saniye cinsinden yeniden hesaplanacaktır.

TMU, MTM yönteminde kullanılan zaman birimidir. Bu zaman birimi saatin 100,000’de birine denk gelmektedir. Çizelge 4.2’de ve denklem 4.1’de TMU değerinin diğer zaman birimleri ile olan oransal karşılaştırması görülebilir.

$$t = \frac{TMU}{27,8} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2 : MTM – UAS zaman birimleri (MTM Association e. V., 2019).

Zaman Birimleri			
TMU	Saniye	Dakika	Saat
1	0,036	0,0006	0,00001
27,8	1		
1666,7		1	
100000			1

MTM-UAS yöntemlerinde hareket mesafeleri çok önemlidir. Hareket kodları belirtilirken üç adet mesafe kodu bulunmaktadır. Bu mesafeler 80 santimetreye kadar 3 adet seviyeye ayrılmıştır. Hareket mesafelerinin 80 santimetre ile sınırlı olmasının sebebi, daha uzun hareket gerektiren mesafelerde adım atma ihtiyacının ortaya çıkmasıdır. Çizelge 4.3'te mesafe seviyeleri ve bu mesafelerin aralıklarını görebilirsiniz.

Çizelge 4.3 : MTM – UAS hareket mesafeleri (MTM Association e. V., 2019).

Hareket mesafesi (cm)	Mesafe Seviyesi
$x \leq 20$	1
$20 < x \leq 50$	2
$50 < x \leq 80$	3

İlk olarak alma ve yerleştirme hareketleri için zaman ölçümü yöntemlerinden bahsedecek olursak, bu zaman değerine ulaşabilmek için taşınan parçanın ağırlığı, parçayı alma durumu, parçayı yerleştirme durumu ve parçanın hareket mesafesi olmak üzere 4 adet parametre bulunmaktadır. Ağırlığı fazla olan, avuç dolusu alınan, daha düşük toleranslı bir noktaya yerleştirilen ve daha uzun mesafe hareket ettirilen parçaların TMU değerleri daha yüksek olacaktır. Çizelge 4.4'te bu parametrelere göre TMU değerlerini detaylı bir şekilde inceleyebiliriz. Çizelgede boş olan hücreler bütün alma durumları için aynı olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 4.4 : MTM – UAS alma ve yerleştirme zamanları (MTM Association e. V., 2019).

Al ve Yerleştir	Alma Durumu	Yerleştirme Durumu	Kod	TMU		
				1	2	3
$x \leq 1$ kg	Kolay	Yaklaşık	AA	20	35	50
		Gevşek	AB	30	45	60
		Sıkı	AC	40	55	70
$x \leq 1$ kg	Zor	Yaklaşık	AD	20	45	60
		Gevşek	AE	30	55	70
		Sıkı	AF	40	65	80
$x \leq 1$ kg	Avuç Dolusu	Yaklaşık	AG	40	65	80
$20 < x \leq 50$		Yaklaşık	AH	25	45	55
	Gevşek	AJ	40	65	75	
	Sıkı	AK	50	75	85	
$20 < x \leq 50$		Yaklaşık	AL	80	105	115
		Gevşek	AM	95	120	130
		Sıkı	AN	120	145	160

“P” ile başlayan yerleştirme komutları Çizelge 4.4’teki alıp daha sonra yerleştirme hareketinden farklı olarak elde olan parçaların belirli bir yere yerleştirilmesi için kullanılır. Yine yukarıdaki gibi parçayı yerleştirme durumu ve parçanın hareket mesafesi olmak üzere 2 adet parametre bulunmaktadır. TMU değerleri daha düşük toleranslı bir noktaya yerleştirilen ve daha uzun mesafe hareket ettirilen parçalar için daha yüksektir. Çizelge 4.5’te de bu parametrelere göre TMU değerlerini detaylı bir şekilde bulabilirsiniz.

Çizelge 4.5 : MTM – UAS yerleştirme zamanları (MTM Association e. V., 2019).

Yerleştirme Tipi	Kod	TMU		
		1	2	3
Yaklaşık	PA	10	20	25
Gevşek	PB	20	30	35
Sıkı	PC	30	40	45

El aleti alma hareketleri de bu tez çalışması sürecinde kullanacağımız hareketlerden biridir. Örnek verecek olursak, delik delme el aletini alma hareketinin zaman çalışmasında bu çizelgeden yararlanılacaktır. Harcanacak olan zamanı çizelgeden bulmak için el aletinin kavranmasının durumu ve parçanın toplam hareket mesafesi olmak üzere 2 adet parametre bulunmaktadır. TMU değerleri daha sıkı bir şekilde

kavranacak olan ve daha uzun mesafe hareket ettirilen el aletleri için daha fazla olacaktır. Aşağıdaki çizelgede de el aleti alma hareketi için TMU değerlerini detaylı bir şekilde inceleyebiliriz (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 : MTM – UAS alet alma zamanları (MTM Association e. V., 2019).

Alet alma	Kod	TMU		
		1	2	3
Yaklaşık	HA	35	45	65
Gevşek	HB	40	60	75
Sıkı	HC	50	70	85

Hareket çevrimleri, ellerin ve ayakların çevrimsel olarak tekrarladığı hareketlerde kullanılan zaman çalışması tablosudur. Hareket elle ya da yardımcı alet yardımı ile yapılabilir. Alma, tutma, yerleştirme gibi hareketler dışında kalan hareketler genellikle bu gruba dahil olur. Bu kategori altında dört adet alt hareket bulunmaktadır. Eğer hareket bir kez gerçekleşiyorsa tek hareket, birden çok kez yapılıyorsa hareket dizisi, yeniden pozisyonlama yapılarak yapılıyorsa yeniden pozisyonlama ve tek hareket, sıkma ve gevşetme olacak şekilde ayrılırlar. Bu başlıklar için detaylı TMU değerleri Çizelge 4.7’de incelenebilir.

Çizelge 4.7 : MTM – UAS hareket çevrimleri zamanları (MTM Association e. V., 2019).

Hareket Çevrimleri	Kod	TMU		
		1	2	3
Tek hareket	ZA	5	15	20
Hareket dizisi	ZB	10	30	40
Yeniden pozisyonlama ve tek hareket	ZC	30	45	55
Sıkma ve gevşetme	ZD	20	20	20

Çalıştırma hareketi, ayarlama parçasının el ya da ayak hareketi ile hareket ettirilmesidir. Makinelerin çalıştırma butonları, çalıştırma kolları tekli hareket için ve döndürerek kullanılan ayarlama kolları veya araba vitesleri bileşik hareketler için örnek olarak verilebilir. Çizelge 4.8’de bu yöntem için hareket ve mesafeye göre hazırlanan TMU çizelgesini inceleyebiliriz.

Çizelge 4.8 : MTM – UAS çalışma zamanları (MTM Association e. V., 2019).

Çalıştırma	Kod	TMU		
		1	2	3
Tekli	BA	10	20	25
Bileşik	BB	20	30	35

Çizelge 4.9 : MTM – UAS vücut hareketleri zamanları (MTM Association e. V., 2019).

Vücut hareketleri	Kod	TMU
Yürüme (m)	KA	25
Eğilme, bükülme, diz çökmek ve kalkmak	KB	60
Oturmak ve kalkmak	KC	110
Görsel Kontrol	VA	15

Yukarıdaki çizelgelerdeki gibi mesafeye bağlı olan hareketlere ek olarak MTM yönteminde mesafeden bağımsız olan fakat süre karşılığı olan hareketler de bulunmaktadır. Bu hareketler yürüme, eğilme, doğrulma, oturmak, kalkmak, görsel kontrol olarak listelenebilir. Çizelge 4.9’da bu vücut hareketleri ve görsel kontrol kodlarına karşılık gelen TMU zaman değerlerini inceleyebilirsiniz.

4.3 EAWS Ergonomi Analizi Çalışması

Bu tez çalışması kapsamında yapılacak olan ergonomi analizi için yapılan literatür incelemesine göre en çok tercih edilen yöntemlerden EAWS yönteminin kullanılmasına karar verildi. Bu yöntem günümüzde üretim tesislerinde yapılan ergonomi analizlerinde en çok kullanılan yöntemlerdendir.

EAWS yöntemini uygulayabilmek için manuel değerlendirme kâğıdı yöntemine ek olarak bilgisayar uygulamaları da bulunmaktadır. Bu çalışmada EAWS Digital isimli bilgisayar programı kullanılarak ergonomi analizi yapılacaktır. Bu programa belirlenen hareketler için parametreler girilerek analiz sonucunda bir skor verilecek ve renk olarak bir sınıflandırma ortaya çıkacaktır.

İlk olarak açılış ekranından bahsedecek olursak, uygulamanın açılış ekranında çalışanın çalışma koşulları ve fiziksel özelliklerinin bilgisi Şekil 4.3’teki gibi girilmektedir. Çalışanın mesai süresi, çalışana mesai süresi boyunca sağlanan mola

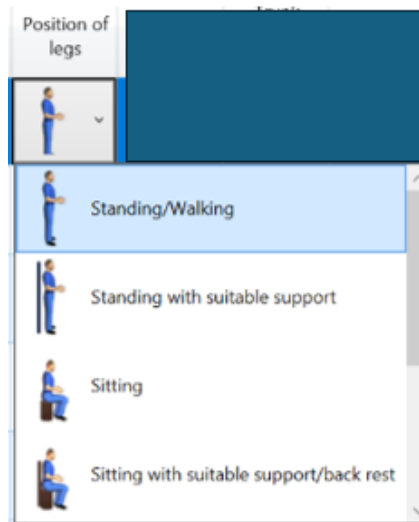
süreleri ve çalışanın çevrim zamanı eklenerek çalışanın ergonomisine çalışanın dinlenme ve çalışma sürelerinin etkisi eklenmektedir.

The screenshot shows the 'Input mode' section of the EAWS application. It includes fields for 'Working time (gross)/Cycle time', 'Shift duration (gross)', 'Lunch break', 'Remaining breaks', 'Not repetitive', 'Shift duration (net)', 'Number of pieces', 'Cycle duration', 'Allowance', 'Performance level', 'Workplace', 'Gender', and 'Body size'. The 'Shift duration (gross)' is set to 0 Minutes. 'Lunch break' is 0 Minutes. 'Remaining breaks' is 0 Minutes, with a note 'distributed into: 2 breaks (incl. lunch break), each longer than 8 minutes'. 'Not repetitive' is 0 Minutes. 'Shift duration (net)' is 0 Minutes. 'Number of pieces' is 0. 'Cycle duration' is 0.0 Seconds. 'Allowance' is 0.0 %. 'Performance level' is 100.0 %. 'Workplace' is 'free walking on workplace possible'. 'Gender' is 'Gender neutral'. 'Body size' is empty.

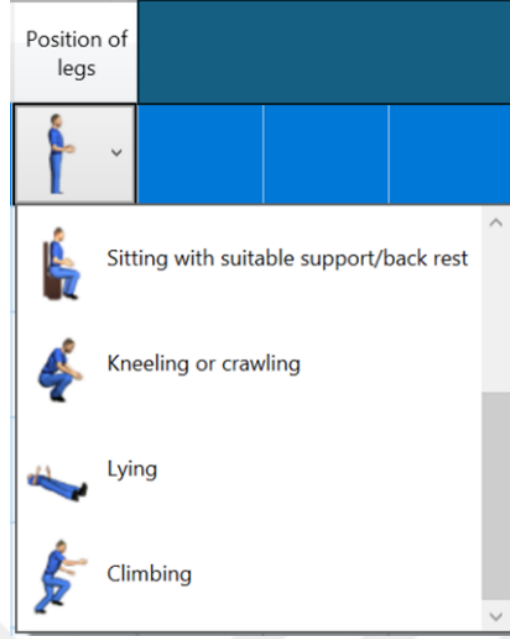
Şekil 4.3 : EAWS uygulaması açılış ekranı.

Bu bilgilere ek olarak çalışma alanının koşulları, dar alanda mı yoksa geniş ve yürümeye müsait bir alanda mı çalıştığının bilgisinin programa girdi olarak eklenmesi gerekmektedir. Ayrıca çalışanın cinsiyeti ve boy bilgisi de uygulamaya eklenir. Kadın çalışanlarda ergonomik olarak zorlanma daha fazla olacakken erkek çalışanların ergonomik zorlanmaları daha düşük çıkacaktır.

Çalışanların iş yapma süreçlerinde duruş pozisyonları ergonomik açıdan çok büyük önem arz etmektedir. Oturma, uzanma, çömelme gibi çeşitli duruş pozisyonları çalışanın ergonomisine farklı şekillerde etki etmektedir. EAWS digital programında da ilk olarak bacak pozisyonu parametresi ile çalışanın iş boyunca bacak pozisyonunun onun ergonomisine etkisi değerlendirilir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te uygulama üzerinde farklı bacak pozisyonlarının seçim ekranını inceleyebilirsiniz.

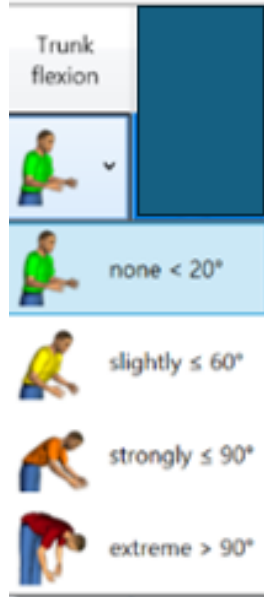


Şekil 4.4 : EAWS uygulamasında bacak pozisyonu seçimi.



Şekil 4.5 : EAWS uygulamasında bacak pozisyonu seçimi.

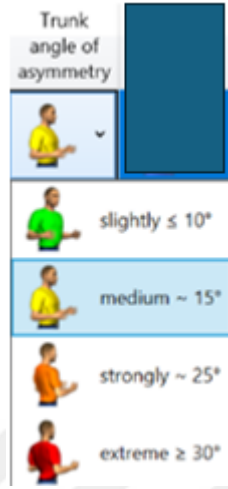
Üçüncü olarak vücut eğilmesi parametresi programa girildi. Vücut açısı olarak 4 farklı açı aralığı bulunmakta ve açı arttıkça ergonomik olarak çalışan üzerindeki zorlanma da artmaktadır. Şekil 4.6'daki ekran görüntüsünde vücut eğilme açıları ve görselleştirmelerini bulabilirsiniz.



Şekil 4.6 : EAWS uygulamasında vücut eğilmesi seçimi.

Çalışanların görev sırasında üst gövdelerini ne kadarlık bir açıyla çevirip çevirmediikleri de önemli bir ergonomi faktörü olarak değerlendirilir ve bu parametreye vücut asimetrisi adı verilir. Bu parametrede çalışanın belinden itibaren

üst gövdesini çevirme açısı arttıkça çalışanın ergonomik olarak zorlanması artmaktadır. Şekil 4.7’de vücut asimetrisi seçim ekranının ekran görüntüsü incelenebilir.



Şekil 4.7 : EAWS uygulamasında vücut asimetrisi seçimi.

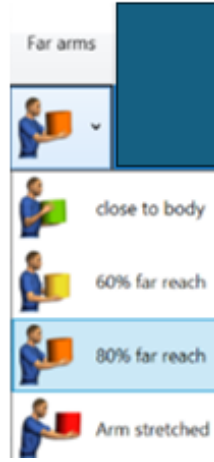
Çalışanın işi yaparken üst vücutun sağa veya sola eğilme durumu bu vücut eğimi parametresi ile derlendirmeye alınır. Çalışanın işi yaptığı sürede vücutunu yana doğru eğmesi ergonomik olarak vücutun zorlanmasına neden olmaktadır. Bu parametre açısı değerine göre dört ayrı gruba ayrılmaktadır ve açının artması ergoni risk skorunu artırmaktadır. Şekil 4.8’de bu parametre için EAWS Digital seçim ekranını inceleyebilirsiniz.



Şekil 4.8 : EAWS uygulamasında vücut eğimi seçimi.

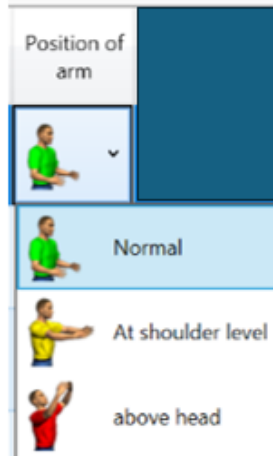
Kolların ergonomik olarak incelenmesi için harekete konu olan ağırlığın vücuttan ne kadar açık bir şekilde tutulduğu da parametre olarak sisteme girilir. Ağırlığı vücuttan uzakta tutmak kollara binecek olan yükü artıracığı için ergonomik olarak riski

artıracaktır. Şekil 4.9’da ağırlıkların vücuda göre konumlarını ve ağırlıkların görselleştirmelerini inceleyebilirsiniz.



Şekil 4.9 : EAWS uygulamasında kol uzaklığı seçimi.

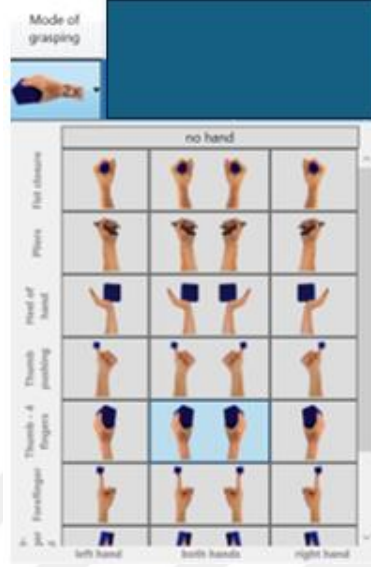
Kol pozisyonu da ergonomi analizinde önemli parametrelerden birisidir. İşin yapıldığı zamanda işlem yapılan bölgenin dikey konumuna göre bu parametrenin seçimi yapılmalıdır. Üç seçenek bulunan bu parametrede kolun omuz seviyesinden aşağıda olması, omuz seviyesinde olması ve baş seviyesinin üstünde bulunmak üzere kategorilendirilmiştir ve kol seviyesi yukarı çıktıkça ergonomik olarak zorlanma artmaktadır. Şekil 4.10’da EAWS Digital uygulamasında kol pozisyonu seçimi sayfasını ve seçenekleri görebilirsiniz.



Şekil 4.10 : EAWS uygulamasında kol pozisyonu seçimi.

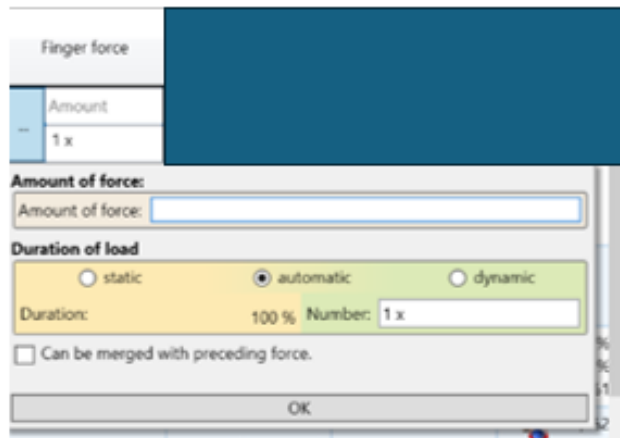
Farklı tiplerde kavramalar çalışanların işleri yaptığı işlerde kollara binecek olan zorlanma miktarını da değiştirmektedir. Bu nedenle EAWS yönteminde kavrama modu parametresi oluşturularak iş sırasındaki malzemenin kavramasının ergonomiye etkisi de hesaba katılmıştır. Çalışanların bu süreçteki kavramalarının hesaplara dahil

edilebilmesi için oluşturulan ilgili parametre sayfasının görüntüsü Şekil 4.11’deki gibi incelenebilir. Görüleceği üzere sağ ve sol eller için aynı kavrama modları seçilebilecek iken ayrı kavrama modları da seçilmesinin mümkün olması da sağlanmıştır.



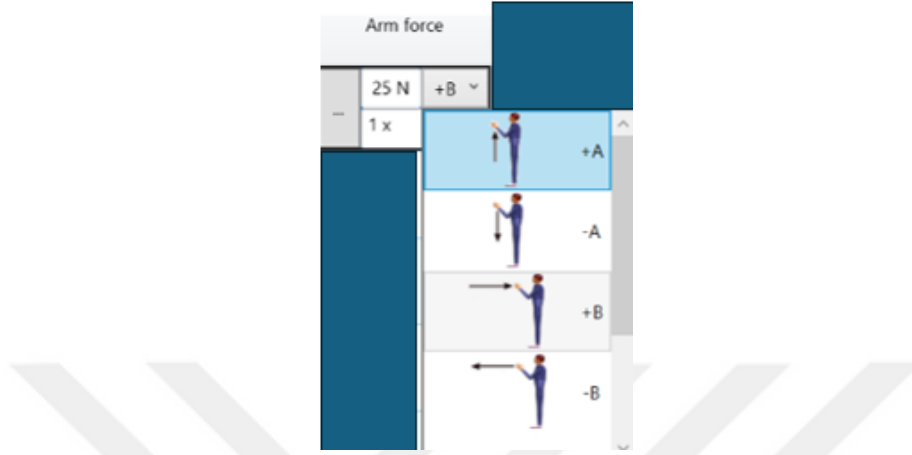
Şekil 4.11 : EAWS uygulamasında kavrama modu seçimi.

Çalışanların işleri süresince uyguladıkları parmak kuvvetleri ile parmak kas ve eklemlerinde meydana gelebilecek olan ergonomik rahatsızlıkların tespiti için parmak kuvveti parametresi bulunmaktadır. Bu parametrede çalışanın parmak ile uyguladığı kuvvetin büyüklüğü, yönü, uygulanma süresi ve tekrar sayısı gibi bilgiler programa girilerek parmakta meydana gelecek ergonomik zorlanmanın büyüklüğü tespit edilmeye çalışılır. Şekil 4.12’de parmak kuvveti parametresinin eklendiği sayfanın görseli incelenebilir.



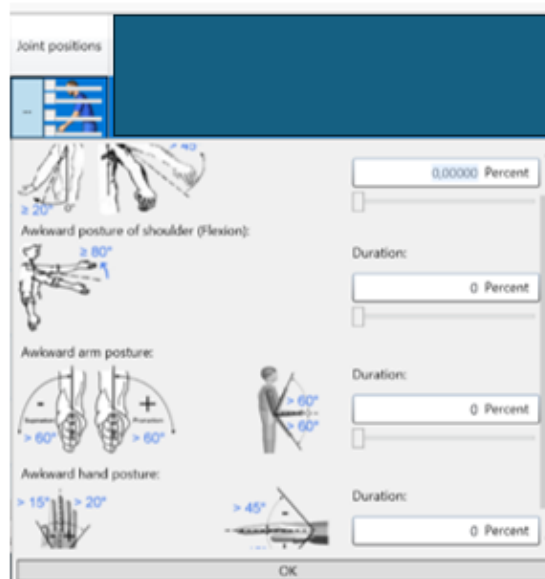
Şekil 4.12 : EAWS uygulamasında parmak kuvveti eklemesi.

Çalışanın yapacağı harekette kolu ile uygulayacağı kuvvetlerin ergonomik etkisini inceleyebilmek için kuvvetin büyüklüğü, kuvvetin yönü ve kuvvetin uygulanma sıklığı parametreleri uygulamaya girilmelidir. Şekil 4.13'te kol kuvveti sekmesini ve kuvvet uygulama doğrultularının görselleştirmelerini inceleyebilirsiniz.



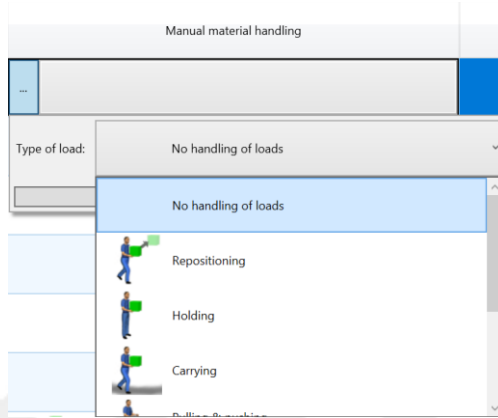
Şekil 4.13 : EAWS uygulamasında kol kuvveti eklemesi.

Eklem pozisyonu parametresi ergonomi değerlendirmesindeki önemli parametrelerden bir tanesidir. Bu parametrede çalışanların omuz eklemlerinden itibaren kollarının kaç derece ile gövdeden itibaren açıldığı ve bu açılığın doğrultusu, dirsek eklemlerinden itibaren kolun kaç derece ile açıldığı ve açılığın doğrultusu ve son olarak el bileklerinde meydana gelecek olan bükülmeler ve bu bükülmelerin doğrultusu değerlendirilir. Bu parametrenin girdilerininin programa eklendiği pencerenin ekran görüntüsü Şekil 4.14'te görülebilir.

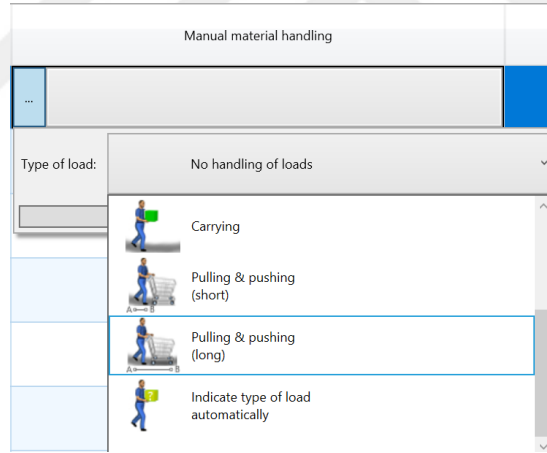


Şekil 4.14 : EAWS uygulamasında eklem pozisyonu eklemesi.

Ergonomi analizini yaparken birçok farklı malzeme elleçleme seçeneği bulunmaktadır. İşlem yapılmakta olan maddelerin tutulduğunda ne türde bir elleçlemeye tabi tutulduğuna dair seçenekler programda bulunmaktadır. Bu elleçleme türlerinin her birinin ergonomik açıdan zorlanma değerleri diğerlerinden farklı olup seçilen türe göre çalışanın ergonomik zorlanması hesaplanmaktadır. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da bilgisayar programında bulunan elleçleme türlerini inceleyebilirsiniz.



Şekil 4.15 : EAWS uygulamasında elleçleme eklemesi.



Şekil 4.16 : EAWS uygulamasında elleçleme eklemesi – 2.

4.4 5S

Literatür taramasında da anlatıldığı gibi 5S yönteminde üretim alanındaki düzen için dikkat edilmesi gereken 5 tane önemli nokta vardır. Bu çalışma kapsamında incelenecek üretim alanında bulunan düzene aykırı olan noktalar tespit edilecek ve bu kısımların iyileştirilmesi sağlanacaktır. Bu 5 ana nokta ve bunları sağlamak için alınması gereken aksiyonlar aşağıdaki gibi listelenmiştir.

4.4.1 Ayıklama

Bu kısımda ilk olarak üretim alanında bulunan parça, ekipman ve üretim araçlarının gereklilikleri sorgulanmalıdır. Eğer bu öğelerin alanda bulunması gerekmiyorsa alandan kaldırılacak veya hurda edilecektir.

4.4.2 Düzenleme

Bu başlık altında, alanda bulunan ekipman ve parçalar incelenip düzensizlik tespit edilen noktalar belirlendikten sonra bu noktaların düzenli olması için gerekli aksiyonlar belirlenecektir. Bu adım sonrasında alanda gerekli olan tertip ve düzen sağlanmış olacaktır.

4.4.3 Temizlik

Ortamda bulunan kirlilik hem çalışanların motivasyonlarını bozabileceği gibi hem de çıkacak ürünlerin kalitesini bozabilir. Kirlilik sebebi ile ürünler hurda olabilir ve maliyetleri artırabilir. Bu nedenle çalışmada bu alanda temizlik açısından uygunsuz görülen noktalar belirlenip bu noktaların temiz tutulması sağlanacaktır.

4.4.4 Standardizasyon

Bu başlık ayıklama, temizlik ve düzenin devamlılığı açısından alınması gereken aksiyonları belirtir. Bu amaçla yapılan her şeyi standart olarak düzenli bir şekilde yapmak amacıyla kontrol ve temizlik formları hazırlanır.

4.4.5 Disiplin

5S disiplini sağlamak amacıyla çalışanlara eğitim ve bilgilendirme yapılması gerekmektedir. Alınacak aksiyonlardan sonra çalışanlar toplanıp 5S'in önemi hakkında bilgi verilecek ve kurum kültüründe çok önemli bir yerde olan 5S'in devamlılığına katkıda bulunulacaktır.

4.5 Takt Zamanı

Duanmu ve Taaffe (2007) tarafından yapılan çalışmaya göre takt zamanı, mevcut çalışma süresinin o zaman diliminde ihtiyaç duyulan ürün sayısına bölünmesiyle elde edilir. Soliman (2020) tarafından yapılan çalışmaya göre takt zamanı aşağıdaki

denklem 4.2'deki gibi hesaplanabilir ve tasarlanan üretim hatlarının çevrim süresi bu formül ile hesaplanan takt zamanından daha düşük olmalıdır.

$$Takt\ zamanı = \frac{Etkin\ çalışma\ süresi}{Müşterinin\ ihtiyaç\ duyduğu\ üretim\ adedi} \quad (4.2)$$

4.6 OEE

Kwon ve Lee (2004) tarafından yazılan makaleye göre OEE, işletmelerin ekipmanın zaman kaybına göre verimliliğini ölçebilmek amacı ile performans verimliliği, zaman kullanımı ve ürün kalitesinin çarparak bulunduğu bir ölçüttür ve formülü denklem 4.3'teki gibidir.

$$OEE = Verimlilik * Kullanılabilir\ zaman * Kalite \quad (4.3)$$

Hedman ve diğ. (2016) tarafından yazılan makalede planlanan üretim süresi için planlanan üretim süresi ve kesinti süresi arasındaki oran, verimlilik için çevrim süresi ve gerçek çalışma süresi boyunca üretilen ürün sayısının çarpımı ve kalite oranı için de kabul edilen ürünler ve bütün üretilen ürünler arasındaki oran olarak tanımlama yapmışlardır.

4.7 Çalışan Verimliliği Hesaplaması

Sonuçların değerlendirilmesi kısmında tez çalışmasının da öncelikli amacı olan verimlilik hesabı yapılacaktır. Musa ve diğ. (2019) tarafından yazılan makalede de çalışan verimliliği için aşağıda denklem 4.4'te verilmiştir.

$$Çalışan\ verimliliği = \frac{Üretim\ Adedi}{Çalışma\ Saati} \quad (4.4)$$

Çalışmanın yapıldığı fabrikada çalışan verimliliği hesaplarında çıktı olarak fabrikada üretilen toplam ürün adedi olarak değerlendirilmektedir. Girdilerde ise çalışan verimliliği hesaplanması hedeflendiği için sadece toplam çalışma saati hesaba katılacaktır. Toplam çalışma süresi, verimlilik formülündeki üretim adedinde üretim sayısına ulaşmak için gerekli olan çalışan sayısı ve bu çalışanların vardiyalık olarak ne

kadar süre çalışıklarının çarpımı olarak hesaplanabilir. Bu çarpım denklem 4.5'te verilmiştir.

$$\text{Çalışma Saati} = \text{Çalışan Sayısı} * \text{Mesai Süresi} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'i denklem 4.4'te yerine yazdığımızda denklem 4.6 elde edilir.

$$\text{Çalışan verimliliği} = \frac{\text{Üretim Adedi}}{\text{Çalışan Sayısı} * \text{Mesai Süresi}} \quad (4.6)$$

Verimlilik kazancını hesaplayabilmek için karşılaştırma yapabilmek amacı ile baz olarak bir durumun seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yapacağımız verimlilik hesabında şimdiki durum olarak çalışmanın tamamlanması ile çalışan sayısının azaltıldığı durum ve önceki baz durum olarak da çalışma yapılmadan önce üretim alanındaki durum olarak düşünülecektir. Bu durumda denklem 4.7 elde edilecektir.

$$\text{Çalışan verimliliği kazancı} = \frac{\text{Verimlilik}_{\text{şimdiki durum}}}{\text{Verimlilik}_{\text{önceki durum}}} - 1 \quad (4.7)$$

Denklem 4.7'yi de denklem 4.4 ile birleştirerek yazacak olursak kazanç denklem 4.8'deki gibi olur.

$$\text{Verimlilik kazancı} = \frac{\left(\frac{\text{Üretim Adedi}}{\text{Çalışma Saati}} \right)_{\text{şimdiki durum}}}{\left(\frac{\text{Üretim Adedi}}{\text{Çalışma Saati}} \right)_{\text{önceki durum}}} - 1 \quad (4.8)$$

5. UYGULAMA

5.1 Fabrika Hakkında Genel Bilgiler

Bu çalışmanın yapıldığı fabrika bir buzdolabı fabrikasıdır. Bu fabrikada evlerde kullanılan klasik tipteki buzdolaplarının üretimi yapılmaktadır. Fabrikada 6 adet montaj hatları bulunmaktadır. Bu hatlar Hat 1, Hat 2, Hat 3, Hat 4, Hat 5 ve Hat 6 olarak isimlendirilecektir. Bu hatların üretim adetleri vardiyada hat başına 350 adet olacak şekildedir.

Vardiyalık olarak çalışma süresi 8 saattir. 30 dakika öğle yemeği molası, 10 dakika çay molası ve 5 dakika vardiya başı üretim toplantısı olduğundan toplam çalışma süresi 425 dakikadır. Bundan sonra yapılacak olan hesaplarda vardiya süresi bu sebep ile denklem 5.1'deki gibi 425 dakika olarak alınacaktır.

$$8 * 60 - 30 - 10 - 5 = 425 \text{ dakika} \quad (5.1)$$

5.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı yönetim birimlerince fabrikaya verilmekte olan çalışan verimliliği hedeflerini yakalayabilmek amacıyla iç kapı alanında yapılmakta olan işleri daha az çalışma saati ile yapılmasını sağlamak ve böylelikle hem iş gücü verimliliği hem de finansal olarak firmaya katkıda bulunmaktır. Çalışan verimliliğine ek olarak yalın üretim tekniklerini kullanarak iç kapı üretim alanını iyileştirmek ve hurda oranlarını azaltmaktır.

5.3 İç Kapı

İç kapı adı verilen parça buzdolabı kapısının iç tarafında bulunan ve beyaz renkli olan parçadır. Bu parçanın üzerinde tırnak adı verilen çıkıntılar bulunmaktadır. Bu tırnaklara montaj hatlarında müşterilerin kapıya ürün koymasını sağlayacak olan raflar montajlanmaktadır.

Aşağıdaki Şekil 5.1’de dondurucu iç kapıyı ve Şekil 5.2’de soğutucu iç kapıyı görebiliriz.



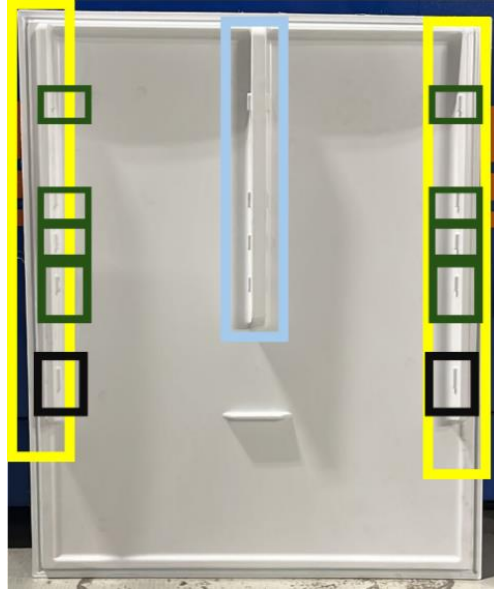
Şekil 5.1 : Dondurucu iç kapı.



Şekil 5.2 : Soğutucu iç kapı.

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında kullanılacak olan soğutucu iç kapının kısımları ile ilgili terimler için Şekil 5.3 kullanılabilir. Bu şekilde yeşil ile belirtilmiş olan bölgeler montaj hattında kapı raflarının takıldığı tırnak isminin verildiği kısımlardır. Siyah ile belirtilmiş kısımlar da yine şişelik adı verilen rafın takıldığı fakat dayanımı daha yüksek olması gereken raftır ve bu nedenle ilerleyen kısımlarda bu bölgelerde işçilik yapılacaktır.

Sarı ve mavi olarak belirtilen bölgeler dayk adını almaktadır. Mavi olan kutu içerisindeki parçaya orta dayk ve sarı olarak belirtilen parçalara kenar dayk adı verilmektedir.



Şekil 5.3 : Soğutucu iç kapı kısımları.

5.4 Kapı Döküm Süreci

İç kapılar, montaj hattında kapı dökümü adı verilen proses ile montaj hattına dahil olurlar. Bu kapı döküm makinesine yerleştirilen metal kapı sacı ve iç kapı arasına poliüretan dökülerek bu poliüretanın gerekli kürlenme süresinin geçmesi beklenir.

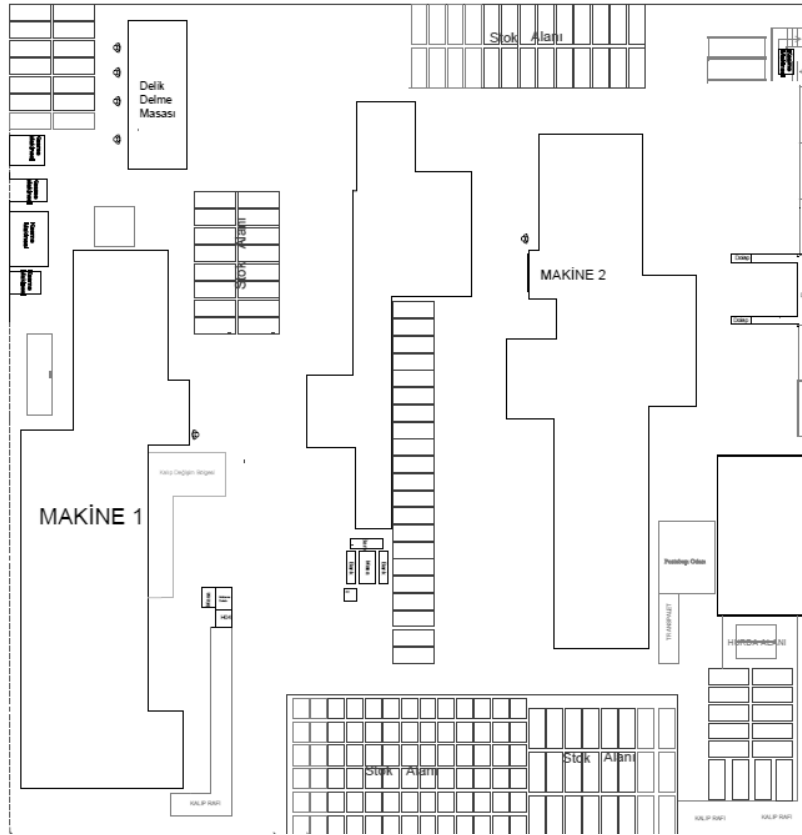
Bahsedilen kimyasal poliüretan maddesinin sac ve iç kapı arasına doğru bir şekilde yayılması gerekmektedir. Doğru bir şekilde yayılma poliüretanın iç kapı içerisinde köşelere ve tırnak parçalarına kadar sorunsuz bir şekilde yayılması ile gerçekleşir. Bu noktalara poliüretan yayılmaması durumunda ise iç kapının dayanımı düşer. Dayanımı düşen iç kapıya takılan raflar üzerine yüklenecek olan ağırlıklar nedeniyle bir zaman sonra “yırılma” adı verilen hasara uğrayarak rafın düşmesine ve belki de müşterinin yaralanmasına sebep olacaktır.

Bu köşe ve tırnak bölgelerine parçaların sorunsuz olarak ilerleyebilmesi için iç kapı üretim alanlarında ilave önlem olabilecek prosesler bulunmaktadır. Bu alanda tırnak ve köşe noktaları gibi noktalara iğne yardımı ile çok küçük çapta delikler açılarak, döküm makinesi kapatıldıktan sonra kapı sacı ve iç kapı arasında kalan havanın bu bölgelerden tahliye edilmesi ve poliüretanın iç kapıda daha doğru bir şekilde ilerlemesi sağlanmaktadır. Bu deliklerin adetleri ve konumları modellerin genişliğine ve tasarımına göre değişmektedir ve bu bilgiler şimdiye kadar yapılmış olan kalite testleri sonucunda belirlenmiştir.

5.5 İç Kapı Üretim Alanı

İç kapı üretim alanında Makine 1, Makine 2 ve Makine 3 olarak adlandıracağımız üç adet sıcaklık kullanarak şekil verme makinesi bulunmaktadır. Bu makinelerden Makine 1 ve Makine 2 aktif bir şekilde üretimde kullanılırken Makine 3 âtıl bir durumda beklemektedir. Sonraki kısımlarda VSM çizelgesinde de belirtileceği üzere makinelerin ilk durum OEE değerleri %87'dir. Bu makineler rulo olarak hazırlanmış plastiği alıp ısıtma sürecinden geçirdikten sonra, içine model bazlı yerleştirilen kalıp yardımı ile plastiğe istenen modelin iç kapı şeklini vermektedir. Şekillenen parçalar daha sonra taşıyıcılar yardımı ile taşıma bandı üzerine yerleştirilir ve bu bant yardımı ile makine operatörüne iletilir. Üretilen iç kapı parçaları daha sonra taşıma araçlarına yüklenerek yukarıda bahsedilen delik delme işlemine gitmek üzere hazırlanır.

İki makinenin üretim çevrim zamanları aynı ve 21 saniyedir. Bu makinelerin üretebilecekleri ürünler tamamen aynı değildir. Bazı ürünlerin kalıpları her iki makineye de uygun olarak bulunurken bazı kalıplar sadece bir makine için bulunmaktadır. Şekil 5.4'te iç kapı üretim alanının yerleşim planını görebiliriz



Şekil 5.4 : İç kapı üretim alanı yerleşim planı.

İç kapı üretim alanı montaj alanında bulunmamaktadır. Montaj hattı dışında şekillendirilen ve gerekli proseslerden geçen parçalar daha sonra transpaletler yardımıyla ilgili üretim hatlarına taşınmaktadırlar.

5.6 Taşıma Araçları

Bu alanda üretilen iç kapılar daha sonra tekerlekli taşıma arabalarına yüklenerek bu arabalar ile iç kapı alanında delinmemiş iç kapı bekleme stok alanı, delik delme alanı ve delinmiş iç kapı bekleme alanı arasında taşınır. Üretim sırası geldiğinde ise delinmiş olan iç kapılar transpalet yardımı ile montaj hattına götürülerek kapı döküm sürecine dahil edilir. Kullanılmış olan taşıma arabası da geri dönecek olan transpalete yüklenerek tekrardan iç kapı üretim alanında boş taşıma arabası kanallarına tekrardan doldurulması için eklenir. Taşıma arabalarının kapasitesi 65 adet ile sınırlıdır. Çift kapılı modellerde 65 çift iç kapı iki rafa olacak şekilde yüklenebilirken tek kapılı modellerde ise bir rafa yüklenmektedir. Şekil 5.5'te üretim alanında kullanılmakta olan taşıma arabalarını görebiliriz.



Şekil 5.5 : Fabrika içi iç kapı taşıma araçları.

5.7 İç Kapı Üretim Alanı Çalışan Planlaması

Fabrikanın iç kapı üretim alanında aşağıda Çizelge 5.1’de görülebileceği üzere vardiyada toplam 9 kişi çalışmaktadır. Bu çalışanlardan biri vardiyada çalışan işçilerden sorumlu olan hat lideri olarak isimlendirilen ustabaşı, 2 tanesi makine operatörü ve 1 tanesi de alandaki taşıma araçlarının hareketini sağlayan araç taşıma çalışanıdır.

Bu çalışanlar dışında geri kalan 5 işçi iç kapıların delik delme proseslerini yürüten delik delme çalışanlarıdır. Hat 1, Hat 2, Hat 4, Hat 5 ve Hat 6 montaj hatlarında üretilmekte olan buzdolaplarını iç kapılarının delik delme işlemleri için ayrı ayrı olarak tanımlanmış işçilerdir. Bu tez dahilinde alanda bulunan beş delik çalışanın sayısının vardiyalık olarak dört kişiye düşürülmesi ve hem bu alan hem de bütün fabrika için verimlilik artışı ve maliyet kazancı sağlanması planlanmaktadır.

Çizelge 5.1 : Çalışma öncesi iç kapı alanı çalışan planlaması

Çalışanın Görevi	İyileştirme Öncesi Vardiyalık Çalışma
Operatör	2
Hat Lideri	1
Hat 1 Delik Delme Çalışanı	1
Hat 2 Delik Delme Çalışanı	1
Hat 4 Delik Delme Çalışanı	1
Hat 5 Delik Delme Çalışanı	1
Hat 6 Delik Delme Çalışanı	1
Araç Taşıma Çalışanı	1
Toplam Çalışan	9

5.8 İç Kapı Delik Delme Pozisyonları

Kapı döküm süreci başlığı altında da anlatıldığı gibi iç kapılara, kapı döküm adı verilen iç kapı ve metal kapı sacı arasına poliüretan maddesi dökülmesi prosesinde, poliüretanların iç kapının bütün girinti ve çıkıntılarına sorunsuz bir şekilde ilerleyebilmesi için iç kapı üretim alanında ısı yardımı ile plastik şekil verme sürecinden sonra iç kapılara delik delme işlemi uygulanır. Poliüretan ilerlemediği durumda soğutucu istenen performansı sağlayamayacak ve dayanımı düşen tırnaklar nedeniyle raflarda düşmeler meydana gelecektir.

Delik delme pozisyonları yapılan kalite testleri ve kontroller sonucunda en iyi yalıtımı ve iç kapı dayanımı sağlayacak şekilde geliştirilerek belirlenmiştir. Bu süreçte denemeler yapılarak gereksiz işçilikten kaçınma ve yalın üretime yaklaşma adına daha az delik açmak için çalışmalar yapılmaktadır.

Bu fabrikada üretilen her model için bu testler ayrı ayrı yapılmakta ve delik sayıları da modelden modele değişebilmektedir. Çizelge 5.2’de, üretilen modellerde açılan delik sayılarını görebilirsiniz. Bu çizelgede her harf bir farklı platform adı verilen farklı modeli temsil ederken, rakamlar da bu platform içindeki farklı ürünleri temsil etmektedir.

Çizelge 5.2 : Üretilen modellere açılan delik sayıları.

Model	Soğutucu Delik Sayısı	Dondurucu Delik Sayısı
A1	6	0
A2	6	0
A3	6	4
A4	8	4
A5	8	4
B	8	0
C1	8	0
C2	8	0
C3	8	0
C4	8	0
D	8	0
E1	8	0
E2	8	0
E3	8	0
E4	8	0

Çalışmanın devamında en çok delik açma işlemi yapılan A4 ve A5 modeli baz alınacaktır. Bunun sebebi ise en çok delik sebebi ile bu alanda çalışması gereken işçi miktarını belirleyecek olan model bunlardır. Diğer modellere göre yapılacak çalışmalar yanıltıcı sonuç verebilir ve yetersiz çalışan sayıları sebebiyle üretim sürecinde problemlerle karşılaşılabilir.

A4 ve A5 modellerde soğutucu iç kapılarına 8 adet delik delinmektedir. Bu deliklerden 2 tanesi iç kapının altında bulunan conta yerleştirilen kanalların kenarına, 2 tanesi ise şişelik rafı adı verilen rafın tırnaklarının alt kısımlarına açılmaktadır. Dayklara açılan deliklerden 2 tanesi kenar daykların alt kısımlarına ve geri kalan 2 tanesi de orta daykın üst kısımlarına açılmaktadır. Şekil 5.6’da soğutucu kapıda açılan deliklerin konumlarını bulabilirsiniz.



Şekil 5.6 : Soğutucu iç kapıda delik açılan noktalar.

Dondurucu iç kapılarda en çok delik yine A4 ve A5 modellerin dondurucu iç kapılarına açılmaktadır. Bu iç kapılarda dört köşeye birer tane olacak şekilde delikler açılmaktadır. Şekil 5.7’de soğutucu kapıda açılan deliklerin konumlarını bulabilirsiniz.



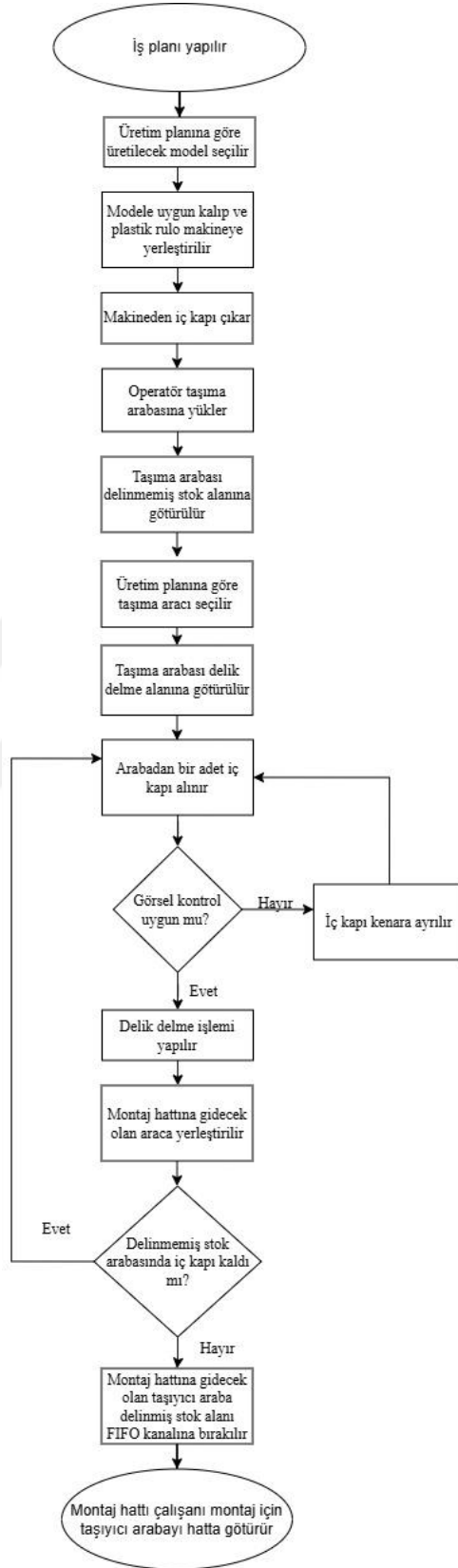
Şekil 5.7 : Dondurucu iç kapıda delik açılan noktalar.

Çalışanlar iç kapıya açılacak olan delikleri makineden uzakta bulunan bir masa üzerinde yapmaktadırlar. Delinmemiş olan iç kapılar masa başında taşıma arabasından alınarak delinip tekrardan araca yüklenmektedir. Şekil 5.8’de masa başında delik delme sürecine ait fotoğraflar görülebilir.



Şekil 5.8 : Çalışanların delik delme prosesi.

5.9 İç Kapı Üretim Alanı Akış Şeması



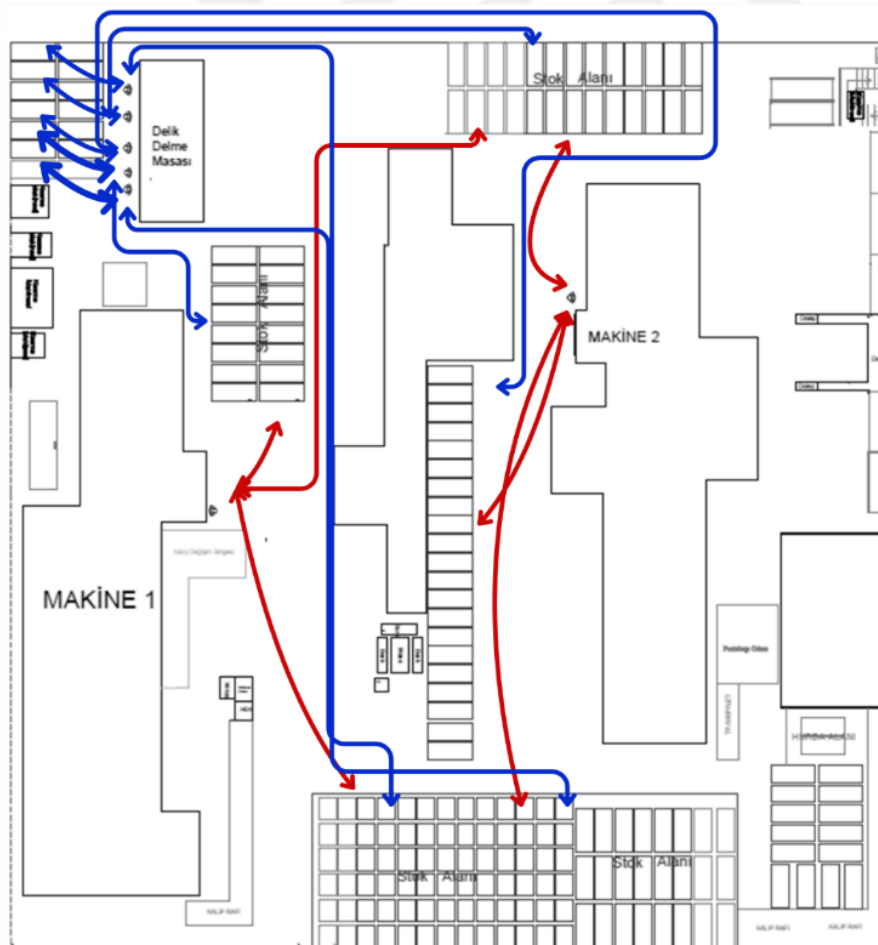
Şekil 5.9 : İç kapı üretim alanı çalışma öncesi akış şeması.

Literatür taraması kısmında verilen sembol listesinden başlangıç, bitiş, süreç ve karar sembollerini kullanarak tez çalışması için bir akış şeması hazırlandı. İç kapı üretim alanında yapılan bütün işlemlerin akış şeması Şekil 5.9’da verilmiştir. Bu şemayı ilerleyen bölümlerde yapılacak iyileştirme çalışmalarından sonra düzenleyerek tekrardan incelenecek ve yapılan çalışma neticesinde aradaki farklar yorumlanacaktır.

5.10 İç Kapı Üretim Alanı Spaghetti Diyagramı

İç kapı üretim alanındaki akışı gözlemlemek için bir diğer yöntem olarak spaghetti diyagramı seçildi. Bu yöntem ile alan içerisinde üretim süresince çalışanların izlediği yollar alanın yerleşim planı üzerinde işaretlendi ve geliştirme potansiyeli olan noktalar belirlendi.

Şekil 5.10’da iç kapı üretim alanındaki akış için hazırlanan spaghetti diyagramını inceleyebilirsiniz. Kırmızı ile çizilen oklar alanda çalışan operatörlerin hareketlerini ve mavi ile çizilen oklar da delik delme çalışanlarının hareketlerini temsil etmektedir.



Şekil 5.10 : İç kapı üretim alanı çalışma öncesi Spaghetti diyagramı.

İç kapı üretim alanında çalışmakta olan operatörler Makine 1 ve Makine 2’den çıkan iç kapıların taşıma arabalarına delinmemiş bir şekilde dizilmesi, onların delinmemiş stok alanlarına taşınması ve boş stok arabalarının tekrardan makine başına getirilmesinden sorumlu olduğu için bu hareketler kırmızı ile diyagram üzerinde belirtilmiştir.

Delik delme çalışanları da delinmemiş stok alanından dolu bir araba alıp onu delik delme masasına taşıdıktan sonra, delinmiş iç kapıları tekrardan arabaya dizip onları montaj hattı kapı iç taşımacılarının teslim alacağı iç kapı delinmiş stok alanına bırakmalıdırlar. Bu hareketler de farklı bir renk olarak mavi ile diyagram üzerinde belirtilmiştir.

5.11 İç kapı Üretim Alanı Değer Akışı Haritalama Kartı

İlk olarak metodoloji sekmesinde de anlatılan takt süresini hesaplamak için tekrardan denklem 4.2 kullanacak olursak üretim alanı vardiyada 425 dakika çalışmaktadır ve her bir makine vardiyada 350 adet ürün üreten 3 adet montaj hattına hizmet vermektedir. Bu bilgileri yerine yerleştirecek olursak takt zamanı aşağıdaki gibi bulunur ve bu değeri VSM kartı çizelgesine yerleştirebiliriz. Denklem 5.3, denklem 5.4 ve denklem 5.5’te takt zamanı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Takt\ zamanı = \frac{425\ dakika * 60\ saniye/dakika}{350\ adet/hat * 3\ hat} \quad (5.2)$$

$$Takt\ zamanı = \frac{25.500\ saniye}{2100\ adet} \quad (5.3)$$

$$Takt\ zamanı = 24,28\ saniye \quad (5.4)$$

Metodolojide belirtilen ve tez çalışmasının yapıldığı alandaki VSM veri kartı çalışma öncesinde, elimizdeki ve hesaplanan veriler yardımıyla Çizelge 5.3’teki gibi doldurulmuştur. Çalışmanın sonunda da VSM veri kartı hazırlanacaktır. Bu sayede çalışma sonrasında gerçekleşecek olan iyileştirmeler daha rahat gözlemlenebilecektir.

Çizelge 5.3 : İç kapı üretim alanı çalışma öncesi VSM veri kartı.

İç kapı üretim alanı		
Takt süresi	24,28	saniye
Çevrim süresi	21	saniye
Proses süresi	4,6	dakika
POT	425	dakika
Çalışan Sayısı	23	adet
Vardiya Sayısı	3	adet
OEE	87	%
Varyant Sayısı	15	adet
Hatalı Üretim Oranı	7	%
Kalıp değişim süresi	14	dakika

İç kapı üretim alanındaki bu akışları, diyagramları ve verilen bilgileri incelediğimizde, makine çıkışında delik delme işlemi yapılması durumunda, spaghetti diyagramında mavi ile belirtilen delik delme çalışanlarının yürüme, araç boşaltma, doldurma gibi işçilikleri ortadan kaldırılacağından çalışan uygunluğu artırılabilir ve uygunluğun yeterli olması durumunda çalışan kazancı da sağlanabilecektir.

Bir diğer kazanç olarak da makine de meydana gelen seri hatalar makine çıkışında görsel kontrol yapılmadığı için önce delinmemiş stok alanına ve daha sonrasında delik delme bölgesine gitmektedir. Fakat makine çıkışında görsel kontrol ve delik delme işçiliklerinin yapılması sonrasında hataya kaynağında müdahale edilerek iç kapının delik delme bölgesine ulaşana kadar geçen zamanda üretilen seri hatalı hurda malzemelerin üretilmesine de engel olunacağı için hurda kazancı da sağlanabilecektir.

İlk olarak çalışanların zamanlarının kontrolü ve ardından ergonomi kontrolleri ile yukarıda belirttiğimiz senaryonun uygunluğu kontrol edilecektir. Uygun olması

durumunda da yeni akış şemaları ve diyagramlar çizilerek veriler eşliğinde çalışma sonucu sağlanan kazançlar hesaplanacaktır.

5.12 MTM Analizi

Planlanan durumda makine çıkışlarına yerleştirilecek olan iki kişi için metodoloji başlığı altında anlatılan MTM-UAS yöntemi kullanılarak zaman çalışması yapıldı. Makine çıkışında çalışacak iki işçi için ilk planlanan yerleşim Şekil 5.11'deki gibidir.



Şekil 5.11 : Çalışanların makine başı konumlanması ve iç kapıların makine çıkışı yerleşimi.

Bu düzene göre yerleştirilecek olan iki işçiden birinin dondurucu iç kapısını ve diğerinin dondurucu iç kapısını delectek şekilde bir zaman çalışması yapıldı. Bu delik delme sürecinde soğutucu iç kapısında delinecek olan sekiz adet delik ve diğer işçilikler için aşağıdaki çizelgedeki gibi bir MTM çalışması yapılmıştır (Çizelge 5.4). Çizelgede bulunan kodlar ve TMU değerleri yapılan işin karşılığı olarak metodoloji kısmında bulunan çizelgelerin yardımıyla yapılırken sıklık değerleri döngünde o işin kaç defa yapıldığı anlamına gelmektedir. Birden fazla parça için yapılan işlemlerde parça başına düşen sıklık değerleri çizelgeye yazılmıştır.

Yapılan işlemlerin MTM- UAS analizi sonrasında TMU değeri çizelgede toplandıktan sonra 650,83 olarak hesaplanmıştır. TMU değerini saniyeye çevirmek için denklem 4.1 kullanılacak olursa, denklem 5.5'te toplam süreyi 23,43 saniye olarak hesaplayabiliriz.

$$t = \frac{650,83}{27,8} = 23,43 \quad (5.5)$$

Çizelge 5.4 : Soğutucu iç kapı delik delme MTM analizi.

Sıra	Operasyon tanımı	MTM Sonuçları		
		Kod	TMU	Sıklık
Op.1	Üst üste duran 6 adet soğutucu iç kapıyı makineden al ve önüne çek	AM3	21,67	0,17
Op.2	6 adet iç kapının yönünü çevir	PA3	4,17	0,17
		ZA3	3,33	0,17
		AL3	19,17	0,17
		ZA3	3,33	0,17
Op.3	İç kapı görsel kontrolünü yap	VA	60,00	4,00
Op.4	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ conta alt köşesini del	HB3	150,00	2,00
		ZA1	10,00	2,00
Op.5	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ alt dayk uç noktasını del	PB2	60,00	2,00
		ZA1	10,00	2,00
Op.6	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ şişelik rafı noktasını del	PB1	40,00	2,00
		ZA1	10,00	2,00
Op.7	İç kapının üst noktasını çek	AH2	45,00	1,00
Op.8	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının orta dayk noktasını 2 defa del	PB2	60,00	2,00
		ZA1	10,00	2,00
Op.9	Delinen iç kapıyı yan istasyona koy	AL2	105,00	1,00
		ZA1	5,00	1,00
Op.10	Delme operasyonu tamamlanan 6 adet iç kapıyı al arabaya yükle	AM1	15,83	0,17
		KA	16,67	0,67
		PA1	1,67	0,17
Toplam Zaman (TMU)			650,83	
Toplam Zaman (Saniye)			23,43	

Aynı yerleşim planına göre çalışan diğer dondurucu iç kapı delme çalışmasının iş planı için yapılan MTM çalışması çizelgesi aşağıdaki gibidir (Çizelge 5.5). Yapılan işlemlerin MTM- UAS analizi sonrasında TMU değeri 357,50 olarak hesaplanmıştır. TMU değerini, saniye cinsinden yazmak için yeniden denklem 4.1 kullanılacak olursa, denklem 5.6’da toplam süreyi 12,87 saniye olarak bulabiliriz.

$$t = \frac{357,5}{27,8} = 12,87 \quad (5.6)$$

Bu MTM çalışması sonucunda görülebileceği üzere soğutucu delik delme işçisinin yapacağı iş 23,43 saniye sürecekken bir diğer işçi olan dondurucu delik delme çalışanın yapacağı iş bu durumda 12,87 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.5 : Dondurucu iç kapı delik delme MTM analizi.

Sıra	Operasyon tanımı	MTM Sonuçları (san.)		
		Kod	TMU	Sıklık
Op.1	Üst üste duran 6 adet dondurucu iç kapıyı makineden al ve önüne çek	AJ3	12,50	0,17
Op.2	İç kapı görsel kontrolünü yap	VA	30,00	2,00
Op.3	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının ilk köşesini del	HC3	85,00	1,00
		ZA1	5,00	1,00
Op.4	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının diğer 3 köşesini del	PC3	135,00	3,00
		ZA1	15,00	3,00
Op.5	Delinen iç kapıyı yan istasyona koy	AH2	45,00	1,00
		ZA1	5,00	1,00
Op.6	Delme operasyonu tamamlanan 6 adet dondurucu iç kapıyı al arabaya yükle	AJ1	6,67	0,17
		KA	16,67	0,67
		PA1	1,67	0,17
Toplam Zaman (TMU)			357,50	
Toplam Zaman (Saniye)			12,87	

İç kapı üretim alanı hakkında verdiğimiz bilgilerde çalışan makinenin çevrim süresi 21 saniyedir. Soğutucu delik delme çalışanın yapacağı iş iç kapı üreten makinenin çevrim süresinden fazla olduğundan çalışan makineden çıkacak iç kapıların delik delmesine yetişemeyeceği için süreç aksayacak ve istediğimiz gibi çalışmayacaktır. Bu durumda bu çalışan azaltması ve verimlilik çalışması yapılamayacaktır.

Bu durumda dondurucu kapı çalışanın yapacağı işin süresinin makinenin çevrim süresinden az olduğu için soğutucu iç kapı delik delme çalışanına yazmış olduğumuz işlerin bir kısmını dondurucu iç kapı delme çalışanın iş talimatlarına eklediğimizde bir hat dengeleme çalışması yapıp sürecin aksamadan ilerlemesi sağlanabilir.

Çizelge 5.6 : Dengeleme sonrası soğutucu iç kapı delik delme MTM analizi.

Sıra	Operasyon tanımı	MTM Sonuçları (san.)		
		Kod	TMU	Sıklık
Op.1	Üst üste duran 6 adet soğutucu iç kapıyı makineden al ve önüne çek	AM3	21,67	0,17
Op.2	6 adet iç kapının yönünü çevir	PA3	4,17	0,17
		ZA3	3,33	0,17
		AL3	19,17	0,17
		ZA3	3,33	0,17
Op.3	İç kapı görsel kontrolünü yap	VA	60,00	4,00
Op.4	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ conta alt köşesini del	HB3	150,00	2,00
		ZA1	10,00	2,00
Op.5	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ alt dayk uç noktasını del	PB2	60,00	2,00
		ZA1	10,00	2,00
Op.6	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ şişelik rafı noktasını del	PB1	40,00	2,00
		ZA1	10,00	2,00
Op.7	İç kapının üst noktasını çek	AH2	45,00	1,00
Op.8	Delinen iç kapıyı yan istasyona koy	AL2	105,00	1,00
		ZA1	5,00	1,00
Toplam Zaman (TMU)			546,67	
Toplam Zaman (Saniye)			19,68	

Bu hat dengeleme çalışmasını yapmak için aşağıdaki operasyonlar soğutucu delik delme çalışanından eksiltilip dondurucu delik delme çalışanına eklenerek yeniden MTM-UAS yöntemi kullanılarak Çizelge 5.6'daki zaman analizi yapılmıştır.

- Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının orta dayk noktasını 2 defa del
- Delme operasyonu tamamlanan 6 adet iç kapıyı al arabaya yükle

Dondurucu delik delme çalışanına ise yukarıda bulunan adımları karşılayacak olan aşağıdaki işlemler eklenmiştir.

- Soğutucu kapıyı almak için yürü
- Yardımcı delme aleti yardımıyla fridge iç kapının orta dayk noktasını 2 adet del
- Delme operasyonu tamamlanan 6 adet fridge iç kapıyı al arabaya yükle

Yapılan işlemlerin MTM- UAS analizi sonrasında TMU değeri 546,67 olarak hesaplanmıştır. TMU değerini, saniye birimine çevirirken denklem 4.1 kullanılacak olursa, denklem 5.7’da toplam süreyi 19,98 saniye olarak bulabiliriz.

$$t = \frac{546,67}{27,8} = 19,68 \quad (5.7)$$

Aynı yerleşim planına göre çalışan dondurucu iç kapı delme çalışmasının yeni iş planı için yapılan MTM çalışması Çizelgesi 5.7’deki aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.7 : Dengeleme sonrası dondurucu iç kapı delik delme MTM analizi.

Sıra	Operasyon tanımı	MTM Sonuçları (san.)		
		Kod	TMU	Sıklık
Op.1	Üst üste duran 6 adet dondurucu iç kapıyı makineden al ve önüne çek	AJ3	12,50	0,17
Op.2	İç kapı görsel kontrolünü yap	VA	30,00	2,00
Op.3	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının ilk köşesini del	HC3	85,00	1,00
Op.4	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının diğer 3 köşesini del	ZA1	5,00	1,00
		PC3	135,00	3,00
Op.5	Delinen iç kapıyı yan istasyona koy	ZA1	15,00	3,00
		AH2	45,00	1,00
Op.6	Delme operasyonu tamamlanan 6 adet dondurucu iç kapıyı al arabaya yükle	ZA1	5,00	1,00
		AM1	15,83	0,17
Op.7	Soğutucu kapıyı almak için yürü	KA	16,67	0,67
		PA1	1,67	0,17
Op.8	Yardımcı delme aleti yardımıyla fridge iç kapının orta dayk noktasını 2 adet del	KA	33,33	1,33
Op.9	Delme operasyonu tamamlanan 6 adet fridge iç kapıyı al arabaya yükle	HB2	60,00	1,00
		ZA1	10,00	2,00
		PB2	60,00	2,00
		AJ1	6,67	0,17
		KA	16,67	0,67
		PA1	1,67	0,17
Toplam Zaman (TMU)			555,00	
Toplam Zaman (Saniye)			19,98	

Yapılan işlemlerin MTM- UAS analizi sonrasında TMU değeri 555 olarak hesaplanmıştır. TMU değerini çevrim süresi ile kıyaslayabilmek amacıyla tekrardan saniyeye çevirecek denklem 4.1 yardımı ile denklem 5.8’de 19,98 saniye olarak bulabiliriz.

$$t = \frac{555}{27,8} = 19,98 \quad (5.8)$$

Yapılan dengeleme analizi sonucunda hem soğutucu hem de dondurucu iç kapı delme çalışanlarının çevrim zamanları makinenin çevrim zamanı olan 21 saniyenin altında kalmıştır. Bu sayede belirlemiş olduğumuz çalışma akışı sorunsuz bir şekilde çalışacaktır. İlerleyen kısımlarda metodoloji yönteminde belirtmiş olduğumuz EAWS yöntemi ile çalışanlar için belirlediğimiz iş talimatlarına göre çalışma sonucunda işçilerin ergonomik durumunu inceleyeceğiz. Ergonomi analizinin de yeşil sonuç vermesi durumunda bu çalışma yöntemi uygulanabilir olacak ve verimlilik çalışması tamamlanacaktır.

5.13 Ergonomi Analizi

Yapılan MTM- UAS analizleri neticesinde çalışanların yapacakları işler iç kapı üretim alanı hakkında verilen bilgiler kısmında belirtilen 21 saniyelik makine çevrim zamanı içerisinde kalacak şekilde dengelenmiş ve operasyon adımları belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci adımı olarak MTM-UAS yöntemi ile belirlenmiş olan bu iş adımlarının, belirlenen çevrim zamanı içerisinde uygulanması ile çalışanın ilerleyen zamanlarda bir kas – iskelet sistemi rahatsızlığı yaşayıp yaşamayacağının kontrolü yapılmasıdır. Bu nedenle metodoloji kısmında da anlatılan EAWS yönteminin bilgisayar programı olarak oluşturulan “EAWS Digital” programında uygulama yapıldı.

Bu programın ilk adımı olarak iki yeni satır oluşturuldu ve bu satırlara çalışacak olan işçilerin istasyon isimleri olarak “Soğutucu Delik Delme” ve “Dondurucu Delik Delme” isimleri verildi. Çalışanların mesai ve mola süreleri fabrika hakkında genel bilgiler bölümünde de belirtildiği gibi toplam 480 dakika ve mola sürelerini düşükten sonra iste 425 dakikadır. Çalışanların çalışma alanları geniş ve yürümeye müsait bir alan olacaktır. Bu çalışma alanında çalışmakta olan bütün operatörler erkek ve boy olarak yaklaşık 180 santimetre olduğundan bu bilgiler de açılış ekranına eklenerek analiz için ilk adım tamamlanmıştır. İkinci adımda bu istasyonlar için Şekil 5.12’de görülebilecek olan başlık ekranı dolduruldu.

The screenshot displays the 'Header data' tab of the EAWS application. The 'Input mode' is set to 'Working time (gross)/Cycle time'. The parameters are as follows:

Shift duration (gross):	480 Minutes	
Lunch break:	30 Minutes	
Remaining breaks:	25 Minutes	distributed into: 2 breaks (incl. lunch break), each longer than 8 minutes
Not repetitive:	0 Minutes	Breaks are possible at every time (Process will not be interrupted)
Shift duration (net):	425 Minutes	
Number of pieces:	1214	
Cycle duration:	21.0 Seconds	
Allowance:	0.0 %	
Performance level:	100.0 %	
Workplace:	free walking on workplace possible	
Gender:	Gender neutral	
Body size:	180 cm	

Şekil 5.12 : EAWS uygulaması başlık ekranı.

Çalışanların yeni çalışma koşulları yeni iş talimatları dahilinde incelendi ve üretim denemeleri yapıldı. Üretim denemesinin yapılması çalışanların yeni iş talimatlarını uygulama sürecinde vücutlarının pozisyonlarını incelemek için önem teşkil etmektedir.

Bu üretim denemesinde çalışacak iki çalışan için de aşağıdaki konulara dikkat edildi ve ölçümler yapıldı.

- Sırt duruş pozisyonu
- Bel dönme miktarı
- Parçayı kavrama koşulları
- Eklem pozisyonları
- Uygulanan kuvvetler
- İşlem yapılan parça ağırlıkları

Kuvvetler ve açılar için gerekli ölçüm aletleri kullanılarak yapılan ölçüm ve incelemeler neticesinde işçilerin çalışma koşulları EAWS digital programına parametre olarak eklenerek programda simüle edildi ve çalışanların ergonomik analizleri tamamlandı. Şekil 5.13'te soğutucu delik delme çalışanı ve Şekil 5.14'te dondurucu delik delme çalışanlarının ergonomik analizlerinin görüntülerini görebiliriz.

No.	Description	Duration s	Position of legs	Trunk flexion	Trunk angle of asymmetry	Trunk incline	Far arms	Position of arm	Mode of grasping	Finger force	Arm force	Whole body force	Joint positions	Manual material handling	
1	Üst üste duran 6 adet soğutucu iç kapıyı makineden al ve önüne çek	0,8									18 N	+B			
2	6 adet iç kapının yönünü çevir	1,1												0,3 kg 1 x	Load at body (< 10 cm) Stable
3	İç kapı görsel kontrolünü yap	2,2													
4	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ conta alt köşesini del	0,4									1 N	-B			
5	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ alt dayak uç noktasını del	0,4									1 N	-B			
6	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ şişelik rafı noktasını del	0,4									1 N	-B			
7	İç kapının üst noktasını çek	0,3													1,8 kg 1 x Load at body (< 10 cm) Stable
8	Delinen iç kapıyı yan istayona koy	3,8												0,3 kg 1 x Load at body (< 10 cm) Stable	
9		0,0													
10		0,0													

Şekil 5.13 : EAWS uygulaması soğutucu delik delme çalışması analizi.

No.	Description	Duration s	Position of legs	Trunk flexion	Trunk angle of asymmetry	Trunk incline	Far arms	Position of arm	Mode of grasping	Finger force	Arm force	Whole body force	Joint positions	Manual material handling
1	Üst üste duran 6 adet dondurucu iç kapıyı makineden al ve önüne çek	0,5							 2x		10 N	+B	 %0/%10 %10 %0	
2	İç kapı görsel kontrolünü yap	1,1												
3	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının ilk köşesini del	0,2							 R		1 N	-B	 %15/%0 %0 %15	
4	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının diğer 3 köşesini del	0,5							 R		1 N	+B	 %0/%40 %0 %10	
5	Delinen iç kapıyı yan istayona koy	1,7							 2x				 %0/%25 %0 %0	0,1 kg 1 x Load at body (< 10 cm) Stable
6	Delme operasyonu tamamlanan 6 adet freezer iç kapıyı al arabaya yükle	1,2							 2x				 %0/%30 %0 %0	0,6 kg 1 x Load at body (< 10 cm) Stable
7	Fridge kapıyı almak için yürü	1,2												
8	Yardımcı delme aleti yardımıyla fridge iç kapının orta dayk noktasını 2 adet del	0,3							 R		1 N	-A		
9	Delme operasyonu tamamlanan 6 adet fridge iç kapıyı al arabaya yükle	0,9							 2x				 %5/%0 %0 %0	1,8 kg 1 x Load at body (< 10 cm) Stable
10		0,0												

Şekil 5.14 : EAWS uygulaması dondurucu delik delme çalışanı analizi.

Girilen parametreler ile uygulanan analizler neticesinde soğutucu iç kapı operatörü için ergonomi analizi 23 puan ile yeşil olarak, dondurucu iç kapı operatörü için de 24,5 puan ile Şekil 5.15'teki gibi yeşil olarak sınıflandırıldı. Yalın üretim başlığı altındaki Şekil 3.9'a baktığımızda analizin yeşil olması için sınır 25 puandı ve bizim operatörlerimiz de bu sınırın altında bir puan ile ergonomik olarak iyi durumda çalışacaklardır.

No.	Description	Rapid screening Actual state	Detailed analysis Actual state	Detailed analysis Target state	Proposals for improvement
1	Fridge İç Kapı Operatörü		2 23		
2	Freezer İç Kapı Operatörü		2 24,5		

[Evaluate a further workplace](#)

Şekil 5.15 : EAWS uygulaması ergonomi analizi sonuçları.

Programa girilen parametreler sonucunda yük binen noktalar ve hesapların detaylarını bize sunmaktadır. Şekil 5.16'da soğutucu delik delme çalışanı ergonomi analizi detayları ve Şekil 5.17'de dondurucu delik delme çalışanı ergonomi analizi detayları program çıktısı olarak bize verilmiştir.

Evaluation	
Whole body Posture 2,0 points + Forces 0,0 points + Manual material handling 0,0 points + Extra points 0,0 points Total points 2,0 points	Upper limbs Task 1,8 points + Hand/Arm/Shoulder 1,0 points + Further factors 0,0 points * Duration 8,1 points Total points 23,0 points

Şekil 5.16 : EAWS uygulaması soğutucu delik delme çalışanı ergonomi analizi detayları.

Evaluation	
Whole body Posture 2,0 points + Forces 0,0 points + Manual material handling 0,0 points + Extra points 0,0 points Total points 2,0 points	Upper limbs Task 1,0 points + Hand/Arm/Shoulder 2,0 points + Further factors 0,0 points * Duration 8,1 points Total points 24,5 points

Şekil 5.17 : EAWS uygulaması dondurucu delik delme çalışanı ergonomi analizi detayları.

Program çıktılarını ve değerleri incelediğimizde çalışanların ergonomik olarak çalışabilecekleri bir iş planlaması yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı tesiste ergonomi ve çalışan sağlığı için çok önemli bir kavramdır. Bu nedenle bu çalışanların bu iş talimatları ile çalışması kabul edilebilir olacaktır.

5.14 Çalışma Sonrası İç Kapı Üretim Alanı

Üretim alanında yapılan çalışmalar sonrasında alanda birçok konuda değişiklik gerçekleşmiştir. Bu değişiklikleri ilerleyen başlıkların altında inceleyeceğiz.

5.14.1 Çalışma sonrası çalışan planlaması

Çalışma öncesi ve sonrasındaki çalışan durumunu kıyaslayabilmek için aşağıdaki çizelge oluşturulmuştur. Çizelge 5.8’de de görülebileceği gibi hat bazlı olan delik delme çalışanları yerine iç kapı tipi bazlı olacak şekilde delik delme çalışanları kullanılmaya başlanacaktır. Fabrika hakkında bilgileri verirken bahsettiğimiz gibi iç kapı üretim alanında iki adet iç kapı üretim makinesi bulunmaktadır. Soğutucu ve dondurucu delik delme çalışanları bu makine çıkışlarında çalışacakları için ikişer kişi olacak şekilde tanımlanmıştır.

Çizelge 5.8 : İç kapı üretim alanı ilk ve son durum çalışan planlaması.

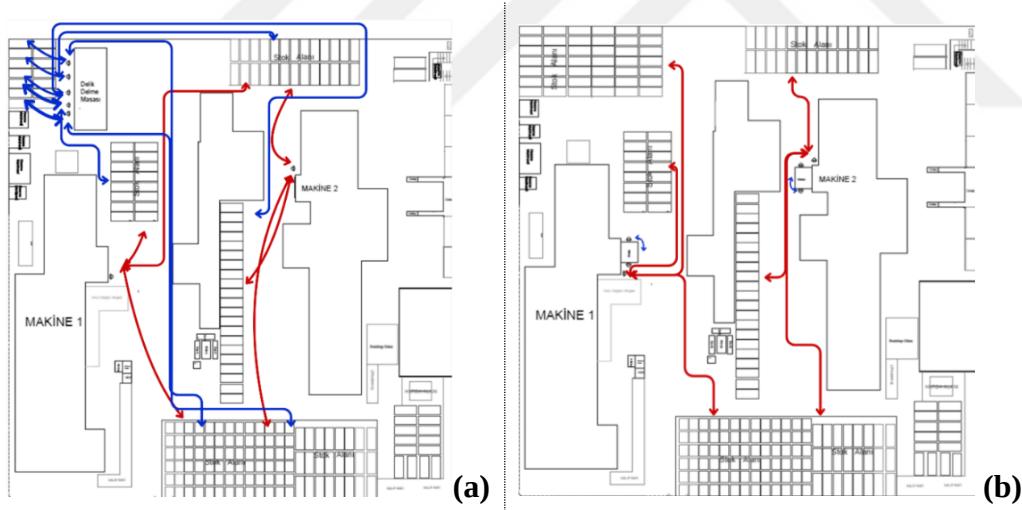
Çalışanın Görevi	İyileştirme Öncesi Vardiyalık Çalışma	İyileştirilmiş Durum Vardiyalık Çalışma
Operatör	2	2
Hat Lideri	1	1
Hat 1 Delik Delme Çalışanı	1	
Hat 2 Delik Delme Çalışanı	1	
Hat 4 Delik Delme Çalışanı	1	
Hat 5 Delik Delme Çalışanı	1	
Hat 6 Delik Delme Çalışanı	1	
Araç Taşıma Çalışanı	1	1
Soğutucu Delik Delme Çalışanı		2
Dondurucu Delik Delme Çalışanı		2
Toplam Vardiyalık Çalışan	7	6
Toplam Günlük Çalışan	23	20

Yapılan bu verimlilik çalışması sayesinde yeni çalışan planlaması ile vardiyada 1 çalışan azaltılmıştır. Bu alan günde üç vardiya çalışmaktadır. Bu nedenle bu alanda bu çalışma sonrasında günlük olarak 3 çalışan azaltılacak bir çalışma yapılmıştır

5.14.2 Çalışma sonrası iç kapı üretim alanı spaghetti diyagramı

Çalışma öncesinde ve sonrasında çizilen spaghetti diyagramlarını Şekil 5.18’de inceleyebilirsiniz. İki spaghetti diyagramını da karşılaştırdığımızda çalışma öncesindeki spaghetti diyagramında mavi ile işaretlenmiş olan delik delme çalışanlarının yürüme işleri ortadan kaldırılmıştır. Bu işlemlerin ortadan kaldırılması ile iç kapı üretim alanındaki hareket akışı sadeleştirilmiş ve çalışanların müsait zamanları artırılarak çalışan kazancının da yolu açılmıştır.

Çalışma sonrası çizilen spaghetti diyagramında da görülebileceği üzere kırmızı ile işaretlenmiş olan operatör hareketlerinin devam etmektedir. Delik delme çalışanlarının hareketleri ise büyük ölçüde ortadan kaldırılmış ve sadece dondurucu delik delme çalışanın iş talimatlarında da bulunan soğutucu iç kapıları taşıma aracına yerleştirmesi için kat etmesi gereken yol işaretlenmiş bulunmaktadır. Makineden çıkan delinmiş stokları, stok alanına götürülmesi ve delinmiş stokların dizilmesi amacıyla hattan gelen boş stok araçlarının delik delme alanlarına taşıma işçiliği yine makine operatörleri tarafından gerçekleştirilecektir.



Şekil 5.18 : Spaghetti diyagramı karşılaştırması: (a) Çalışma öncesi. (b) Çalışma sonrası.

Bu diyagramları karşılaştırmak amacıyla hareket mesafeleri ölçüldü ve çalışanların toplam hareket mesafelerindeki gelişme gözlemlendi. Aşağıda Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10’da çalışanların ilk ve son durumdaki hareketleri ve çalışma sonunda gerçekleşmiş olan hareket kazancı metre cinsinden ifade edilmiştir.

Çizelge 5.9’da alanda ilk ve son durumda çalışmakta olan 2 operatör incelenmiştir. Tabloya iki operatöründe sorumlu olduğu üçer stok alanına gidiş geliş mesafe bilgisi eklenmiştir. Toplam harekette vardiyada 6 kez üç stok alanına gidiş gelişleri sonucunda kat ettikleri mesafe hesaplanmış ve hareket toplamda da iki operatör için toplam hareket miktarı belirtilmiştir.

Tabloda çalışma öncesi ve çalışma sonrası hareket toplamlarının farkını aldığımızda operatörler için vardiyarlık olarak toplam 186,94 metre hareket kazancı sağlandığı belirtilebilir.

Çizelge 5.9 : Operatörler için mesafe karşılaştırması.

	Çalışma Öncesi		Çalışma Sonrası	
Operatör	Operatör 1	Operatör 2	Operatör 1	Operatör 2
Stok Alanı 1	70,49	25,80	65,84	25,74
Stok Alanı 2	35,94	29,05	27,36	29,57
Stok Alanı 3	77,26	54,41	59,53	53,75
Çalışan Toplam	1102,09	655,59	916,38	654,36
Hareket Toplam	1757,69		1570,75	
Hareket Kazancı	186,94			

Delik delme çalışanları için Çizelge 5.10’da çalışma öncesinde delinmemiş stok alanına gidiş geliş mesafeleri ve delinmiş stoğun FIFO kanalına bırakılması için kat edilmesi gereken mesafe gidiş geliş olarak hesaplandı. Yine her vardiya 6 kez gidip gelmesi gerekeceğinden çalışan toplamı satırında bu değerler 6 ile çarpılarak hesaplanmıştır.

Çalışma sonrasında ise soğutucu operatöründe herhangi bir hareket olamayacakken dondurucu delik delme çalışanın iş talimatlarında da belirtildiği üzere her 6 iç kapıda bir soğutucu iç kapıyı almak için yürüyeceğinden bu hareket mesafesi gidiş geliş olarak eklenmiştir. Toplam mesafede ise bu adımın vardiyalık miktarı hesaplanmış ve eklenmiştir.

Çizelge 5.10 : Delik delme çalışanları için mesafe karşılaştırması.

İlk Durum						Son Durum	
Delik Delme Çalışanı	1	2	3	4	5	Soğutucu	Dondurucu
Hareket Mesafesi	115,12	66,62	165,17	30,79	119,05	0,00	5,42
Çalışan Toplam	690,69	399,72	991,03	184,72	714,29	0,00	948,50
Hareket Toplam			2980,45				1897,00
Hareket Kazancı				1083,45			

Bu iki tabloyu beraber incelediğimizde vardiyalık olarak toplam 1270,39 metrelik bir hareket kazancı gerçekleşmiştir. Yalın üretimin yedi israfından biri olan gereksiz hareket, bu çalışma sonrasında azaltılmıştır ve bu azaltma spaghetti diyagramlarının birlikte inelenmesi ile gözler önüne serilmektedir.

5.14.3 Çalışma sonrası iş talimatları

Yapılan çalışmalar sonrası belirlenen görev listesini, işlerin yapılması gereken süreler, kullanılması gereken iş güvenliği ekipmanları ve ergonomi analizi sonucu iş talimatlarına aktararak çalışanların yapacakları işler hakkında bilgilendirme yapıldı. Şekil 5.19’da soğutucu delik delme çalışanları için hazırlanan iş talimatı ve Şekil 5.20’de de soğutucu delik delme çalışanın iş talimatı incelenebilir.

Standart Operasyon Kağıdı	Hat	İç Kapı Üretim Alanı				
	Bölüm	Delik Delme				
	İş İstasyonu	Soğutucu Delik Delme İstasyonu				
	Alternatif					
	Varyant grup					

Etkilenen Model	Zaman [s]		İş istasyonu tanıtımı		
No.	İş İçeriği	varyant seti	Tahsis edilmiş zaman		
1	Üst üste duran 6 adet soğutucu iç kapıyı makineden al ve önüne çek	Tüm modeller	0,8		
2	6 adet iç kapının yönünü çevir	Tüm modeller	1,1		
3	İç kapı görsel kontrolünü yap	Tüm modeller	2,2		
4	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ conta alt kögesini del	Tüm modeller	5,8		
5	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ alt dayk uç noktasını del	Tüm modeller	2,5		
6	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının sol ve sağ şigelik rafı noktasını del	Tüm modeller	1,8		
7	İç kapının üst noktasını çek	Tüm modeller	1,6		
8	Delinen iç kapıyı yan istasyona koy	Tüm modeller	4,0		
		Kisim toplam [s]:	19,68		
Ürün/saat	182,9	İş yükü [%]:	94%	cevrim süresi [s]:	21,0
		Toplam [s]:	19,68		

Kullanım	İş Güvenliği
	*İş kazası bildirimi (Work Accident) *30 dk üzeri üretim duruşu bildirimi (Production stop > 30 min.) *Ekaleyen Matrisine Uyulmalıdır. Next ERGO Check (EAWB) March 2026

Oluşturulma tarihi		Responsible Department:	Planlamacı		Sayfa sayısı	Sayfa numarası
--------------------	--	-------------------------	------------	--	--------------	----------------

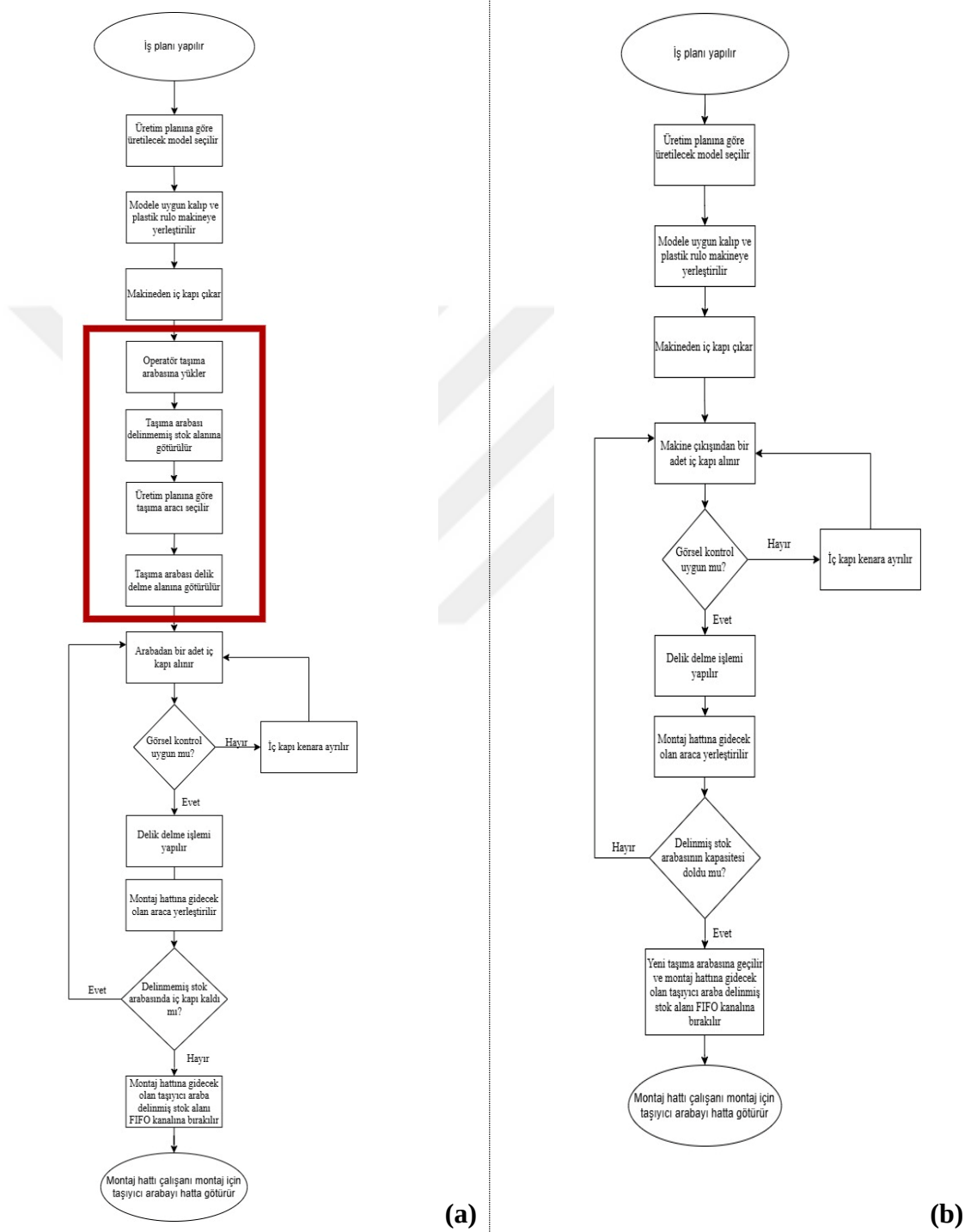
Şekil 5.19 : Soğutucu delik delme çalışanı iş talimatları.

Standart Operasyon Kağıdı		Hat	İç Kapı Üretim Alanı					
		Bölüm	Delik Delme					
		İş İstasyonu	Dondurucu Delik Delme İstasyonu					
		Alternatif						
		Varyant grup						
Etkilenen Model					Zaman [s]			İş istasyonu tanıtımı
No.	İş İçeriği		varyant seti	Tahsis edilmiş zaman				
1	Üst üste duran 6 adet dondurucu iç kapıyı makineden al ve önüne çek		Tüm modeller	0,45				
2	İç kapı görsel kontrolünü yap		Tüm modeller	1,08				
3	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının ilk kögesini del		Tüm modeller	3,24				
4	Yardımcı delme aleti yardımıyla iç kapının diğer 3 kögesini del		Tüm modeller	5,40				
5	Delinen iç kapıyı yan istasyona koy		Tüm modeller	1,80				
6	Delme operasyonu tamamlanan 6 adet dondurucu iç kapıyı al arabaya yükle		Tüm modeller	1,23				
7	Soğutucu kapıyı almak için yürü		Tüm modeller	1,20				
8	Yardımcı delme aleti yardımıyla fridge iç kapının orta dayk noktasını 2 adet del		Tüm modeller	4,68				
9 Delme operasyonu tamamlanan 6 adet fridge iç kapıyı al arabaya yükle			Tüm modeller	0,9				
			Kismi toplam [s]:	19,98				
Ürün/saat	180,2	İş yükü [%]:	95%	cevrim suresi [s]:	21,0	Toplam [s]:	19,98	
Kullanım							İş Güvenliği	
							 *İş kazası bildirimi (İşin Anıtları) *30 dk üzeri üretim duruşu bildirimi (Producter Lines > 30min.) *Etilasyon Matrisine Uyulmalıdır.	
								
Oluşturulma tarihi		Responsible Department:	Planlamacı			Sayfa sayısı	Sayfa numarası	

Şekil 5.20 : Dondurucu delik delme çalışanı iş talimatları.

5.14.4 Çalışma sonrası iç kapı üretim alanı akışı

İç kapı üretim alanında yapılan bu çalışmalar sonrasında alan içerisindeki akış değişmiştir. Şekil 5.21’de bu çalışmanın öncesinde ve sonrasındaki akış şemasını görebilirsiniz.



Şekil 5.21 : Akış şeması karşılaştırması: (a) Çalışma öncesi. (b) Çalışma sonrası.

Bu diyagramları incelediğimizde yalın üretimdeki yedi büyük israftan olan gereksiz taşıma ve gereksiz hareket bu çalışma sayesinde azaltılmış olduğunu rahatlıkla görebiliriz. Çalışma sonrasında ortadan kaldırılan süreçler, ilk durumdaki akış şeması üzerindeki kırmızı kutu içerisinde belirtilmiştir. İlk durumda 15 olan toplam adım sayısı, çalışma sonrasında 11'e düşürülerek iyileştirilmiştir. Akış boyunca malzemeye yapılan elleçleme sayısı ikiden bire indirilerek araca gereksiz yükleme ve boşaltma işlemleri ortadan kaldırılmıştır. Yapılan toplam kontrol sayısında herhangi bir değişiklik geröekleşmemiştir. Akış şemasında meydana gelen kısalma aslında bu sürecin, gereksiz hareket ve taşımalar ortadan kaldırılarak nasıl yapılabildiğini göstermektedir. Yapılan bu çalışma neticesinde fabrikanın iç kapı üretim alanı, yalın üretim ilkelerine daha uygun bir şekilde çalışan bir üretim sahası haline getirilmiştir.

5.14.5 Çalışma sonrası iç kapı üretim alanı değer akışı haritalama kartı

Çalışma sonrası iç kapı üretim alanındaki durumu tekrardan inceleyebilmek için alanın yeni VSM veri kartı oluşturulmuştur.

Çizelge 5.11 : İç kapı üretim alanı çalışma sonrası VSM veri kartı.

İç kapı üretim alanı		
Takt süresi	24,28	saniye
Çevrim süresi	21	saniye
Proses süresi	2,8	dakika
POT	425	dakika
Çalışan Sayısı	20	adet
Vardiya Sayısı	3	adet
OEE	89,8	%
Varyant Sayısı	15	adet
Hatalı Üretim Oranı	4	%
Kalıp değişim süresi	14	dakika

Çizelge 5.11’de çalışma sonrası oluşturulmuş olan VSM kartını görebilirsiniz İç kapı üretim alanında gerçekleşen çalışma sonrasında, VSM kartında çalışma öncesine göre proses süresi, çalışan süresi ve OEE değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Proses süresi yeni çalışma düzeninde kronometre ile yapılan ölçümler sonrasında ilk duruma göre 1,8 dakika kısalarak 2,8 dakikaya düşmüştür. Ayrıca iç kapı üretim alanında çalışan sayısı 3 kişi azaltılarak çalışan verimliliği artırılmış ve çalışan sayısı yeni VSM kartında 20 kişi olarak güncellenmiştir. Hurda oranında meydana gelen %3 değerindeki iyileştirme ile OEE değerinde de %2,8 değişim meydana gelmiştir.

5.15 5S Uygulamaları

Çalışma yapıldıktan sonra iç kapı üretim alanında yalın üretimin bir diğer aracı olan 5S yöntemine göre uygunsuzluklar tespit edilmiştir. Belirlenen 5S uygunsuzluklarını ortadan kaldırmak amacıyla bu belirlenen uygunsuzluklara aksiyonlar alınmış ve uygunsuzluklar düzeltilmiştir.

İlk uygunsuzluktan bahsedecek olursak 5S yönteminin ilk adımı olan ayıklama adımına aykırı olacak şekilde iç kapı üretim alanında hurda olarak ayrılmış fakat geri dönüşüme atılmamış olan iç kapılar bulunmaktaydı. Alanda atılması gereken ve gereksiz olan ürün ve parçalar hurda dönüşüm kutularına atılarak ayıklama yapıldı ve bu şekilde 5S yönteminin ilk adımı için gereklilikler tamamlanmış oldu. Şekil 5.22’de düzensizce atılmış olan hurda iç kapılar ve hurda kutusuna atılmış geri dönüştürülecek iç kapıları görselini inceleyebilirsiniz.



Şekil 5.22 : Alanda hurda olacak iç kapılar ve düzensizce atılmış iç kapılar.

5S yönteminin ikinci adımı olan düzenleme adımına aykırı olarak Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'te görülebilecek olan iç kapıların düzensiz bir şekilde üretim alanı ve taşıma araçlarına dizimi tespit edildi. Normal şartlarda iç kapıların çizilmesini ve hasar görmesini önlemek amacıyla çalışma alanındaki iç kapıların taşıma araçlarına tek sıra olacak şekilde dizilmesi gerekmektedir ve taşıma aracı dışında başka bir yere bırakmak ya da çift sıra haline birbirlerinin üstüne koyulmaları kabul edilmemektedir.

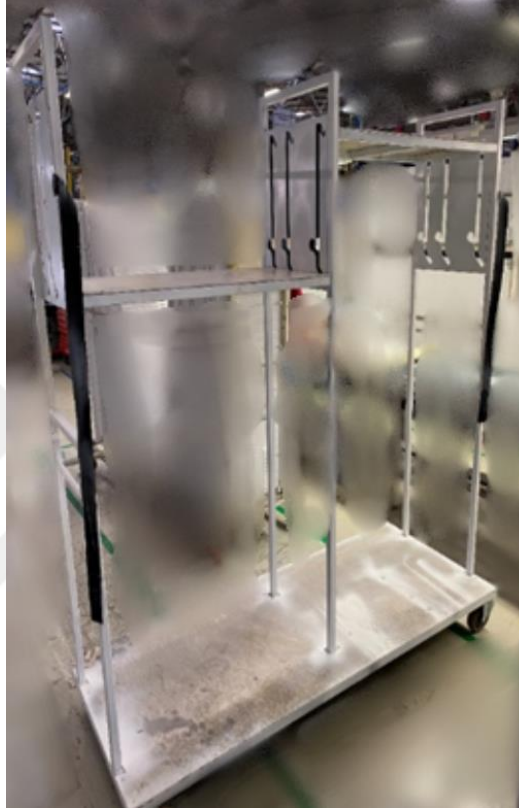


Şekil 5.23 : Rastgele yerleştirilen iç kapılar.



Şekil 5.24 : Yerlere dizilen iç kapılar.

Bu uygunsuzluğun sebebi olarak iç kapı üretim alanında bulunan taşıma araçlarının yetersizliği olarak belirlenmiş ve bu probleme çözüm olarak da fabrikanın iç kaynaklarını kullanarak iç kapı üretim alanında aşağıdaki görselde de bulunan iç taşıma araçları kullanılmaya başlamıştır. Bu sayede iç kapılar yerlere veya taşıma araçlarında çift sıra olacak halde dizilmeyeceklerdir. Şekil 5.25'te yeni kullanılmaya başlanacak olan iç kapı taşıma araçlarının görüntüsünü görebilirsiniz.



Şekil 5.25 : Yeni kullanılacak ilave iç kapı taşıma araçları.

Ayıklama ve düzenleme adımlarından sonra 5S yönteminin üçüncü adımı olarak iç kapı üretim alanının temizlik durumu incelendi. Üretim alanında bulunan makine yağları ve çevreden gelen tozlar sebebiyle iç kapı üretim alanının zemininde çok miktarda lekelenmeler bulunmaktaydı. Özellikle iç kapı taşıma arabalarının hareketi sebebiyle zemine bulaşan tekerlek izleri sebebiyle kötü bir görüntü oluşmakta ve alandaki lekeleri çevreye bulaşması iç kapıların lekelenmesi ve hurda olması için de tehlike oluşturmaktaydı. Zeminde kalıcı olan lekeler geleneksel temizlik yöntemleri ile temizlenememekteydi. Ayrıca zeminde bulunan kırık epoksi zeminde iş güvenliği açısından takılıp düşme tehlikesi sebebiyle olumsuz bir etki yaratmaktaydı. Şekil 5.26'da zeminde bulunan lekeleri ve tekerlek izlerini görebilirsiniz.



Şekil 5.26 : İç kapı üretim alanının temiz olmayan görüntüsü.

Bu olumsuzlukları düzeltmek için ilk olarak alanın zemininde tamirat işleri yapıldı. İş güvenliği risklerini ortadan kaldırabilmek amacı ile zemindeki kırıklar onarıldı ve tamir edildi. Alanın bütün zemini epoksi reçine ile kaplandı ve daha sonra tüm zemin tekrardan boyanarak temiz bir görüntü elde edildi. Ayrıca eskiyen FIFO kanallarının da boyaması tekrardan yapılarak daha temiz bir görüntü kazandırıldı.

5S yönteminin dördüncü adımı olan standartlaştırma adımına katkıda bulunacak olan önemli kurallarından bir olarak alanda bulunan taşınabilir ve taşınamaz olan malzeme ve nesnelerin etrafı, bu yöntemin gereklilerine uygun renklerde alan tanımlama çizgileri ile boyandı. Şekil 5.27’de temizlenmiş ve yeniden boyanarak temiz bir görünüm kazandırılmış olan halini inceleyebilirsiniz.



Şekil 5.27 : İç kapı üretim alanının temiz görüntüsü.

Son olarak yine standartlaştırma adımına aykırı olarak belirlenen bir diğer konu ise alan tanımlamalarının eksik olmasıydı. İç kapı üretim alanında bulunmakta olan stok

alanları belirli montaj hatları için ayrılacak şekilde planlanmıştı. Fakat bu alanların hangi montaj hatları için ayrıldığına dair üretim alanında tanımlama levhaları bulunmuyordu. Bu nedenle Şekil 5.28'deki gibi alanda bulunan bütün stok alanlarının hangi üretim alanlarına ait olduklarına dair tanımlama levhaları asıldı ve böylelikle stokların yanlış alanlara yerleştirilme ya da üretim alanında tecrübesi olmayan yeni çalışanların karıştırma ihtimallerinin de önüne geçilmiş oldu. Tabelalarda firma ismi geçtiği için üstü kapanarak aşağıdaki şekilde paylaşılmıştır.



Şekil 5.28 : İç kapı üretim alanının temiz görüntüsü.

Son aşama olan disiplin aşaması ile de çalışanlar 5S konularında bilgilendirilmiştir. Firmanın düzenli olarak yapılan 5S bilgilendirmeleri ve denetimlerine ek olarak iç kapı üretim alanında çalışan işçilere 5S uygulamasının yapılma nedenleri, sonuçları gibi konularda onlara açıklamalar yapılmış ve alınan bütün aksiyonların devamlılığının sağlanması için çalışılmıştır. Çalışanlara 5S ve yalın üretim bakış açısı sağlanmaya çalışarak ileride yaşanabilecek olan 5S uygunsuzluklarına karşı proaktif çalışmalar yapmaları ve uygunsuzlukların kök nedenlerini tespit etmeye teşvik edilmişlerdir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yapılan çalışmanın birçok avantajı olmuştur. Akışın sadeleştirilmesi ile çalışanların müsaitliği artırılmış ve gereksiz hareket ve taşımının önüne geçilmiştir. Artan çalışan müsaitliği sayesinde çalışan kazancı sağlanmış, maliyetler azaltılmıştır. Ara stoğun ortadan kaldırılması sayesinde stokta tutulan parçaların maliyetleri azaltılmıştır. Yine büyük bir miktarda sağlanan bir diğer kazanç da artık ara stok tutulmayıp görsel kontrolleri kaynağında, direkt olarak makine başında yapmaya başladığı için seri bir şekilde gelen hatalı üretimlerin önüne geçilmiş ve hurda oranlarında düşüş gerçekleştirilmiştir.

6.1 İş Gücü Verimliliği Kazancı

Çalışmanın asıl amacı olan verimlilik konusunda hem iç kapı üretim alanı hem de fabrikanın genel verimlilik kazançları hakkında hesaplar yapılarak gelişim gözlemlenmiştir.

İlk olarak üretim alanındaki verimlilik kazancından bahsedecek olursak çalışmanın başında bu alanda 23 kişilik bir ekip 7,5 saat çalışmaktaydı ve çalışmanın tamamlanmasının ardından bu üretim alanından vardiyada 1 çalışan azaltılarak verimlilik iyileştirmesi olmuştur. Çalışmanın yapıldığı firmada iş gücü verimliliği hesaplarında yemek molası dışında kalan süreler de çalışma saati olarak hesaba katıldığı için mesai süresi 425 dakika yerine 450 dakika olarak hesaba katılmıştır. Bir sonraki yıl üretilecek olan ürün adedi gelecek yıl üretilecek olan ürün adedi ile aynı olacağını varsayarak hesap yapacak olursak denklem 4.8 yardımı ile denklem 6.1 aşağıdaki gibi yazılabilir. Bu denklem çözülerek verimlilik hesabını yaptığımızda da iş gücü verimlilik değeri denklem 6.2 yardımıyla denklem 6.3'teki gibi olur.

$$\text{Verimlilik}_{\text{alan}} = \frac{\frac{\text{Toplam Üretim Adedi}}{20 \text{ çalışan} * 7,5 \text{ saat/çalışan}}}{\frac{\text{Toplam Üretim Adedi}}{23 \text{ çalışan} * 7,5 \text{ saat/çalışan}}} - 1 \quad (6.1)$$

$$\text{Verimilik}_{\text{alan}} = \frac{23}{20} - 1 \quad (6.2)$$

$$\text{Verimilik}_{\text{alan}} = 0,15 = \%15 \quad (6.3)$$

Fabrikaya verilen yıllık verimlilik hedefleri bulunmaktadır ve bu hedeflere ulaşabilmek için bu tez çalışması gibi birçok proje yapılmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasının kısım bazı hedeflere etkisinden ziyade fabrikanın genel verimliliğe olan etkisi daha önemlidir.

Bu fabrikada toplam 1432 adet çalışan bulunmaktadır. Verimlilik kazancı formülünü olan denklem 4.8'i, fabrikadaki toplam çalışan etkisi üzerinden hesaplayacak olursak denklem 6.5 yardımıyla denklem 6.6'daki gibi fabrika iş gücü verimlilik kazancı hesaplanabilir.

$$\text{Verimilik}_{\text{fabrika}} = \frac{\frac{\text{Toplam Üretim Adedi}}{1429 \text{ çalışan} * 7,5 \text{ saat/çalışan}}}{\frac{\text{Toplam Üretim Adedi}}{1432 \text{ çalışan} * 7,5 \text{ saat/çalışan}}} - 1 \quad (6.4)$$

$$\text{Verimilik}_{\text{fabrika}} = \frac{1432}{1429} - 1 \quad (6.5)$$

$$\text{Verimilik}_{\text{fabrika}} = 0,00209 = \%0,209 \quad (6.6)$$

Hesaplamalardan da görülebileceği gibi bu tez çalışmasının buzdolabı fabrikasına iş gücü verimliliği katkısı üretim alanı için %15 ve fabrika genelinde ise %0,209 olmuştur.

6.2 Çalışan Maliyeti Kazancı

Çalışma sonrası çalışma planı başlığı altında bulunan Çizelge 5.8'den de görülebileceği üzere iç kapı alanında çalışan kazancı olmuştur. Vardiyada 1 çalışan azaltılması sonucunda iç kapı alanında 3 vardiyalı çalışmada çalışan sayısı 23'ten 20'ye düşürülerek günlük 3 çalışan kazancı sağlanmıştır.

Çalışmanın yapıldığı tarihte bir çalışanın yıllık maliyeti işverene 15,346 Avro (EUR) olarak belirlenmiştir. Bu çalışma için de yıllık 3 çalışanın işverene maliyeti kazanç olarak hesaplanacak olursa toplam kazanç denklem 6.7'deki gibi olur.

$$15,346 * 3 = 46038 \text{ EUR} \quad (6.7)$$

6.3 Akış Sebebiyle Ara Stokların Ortadan Kalkması

Karşılaştırmalı akış şeması olan Şekil 5.20’de kırmızı ile işaretlenmiş kısmın sadeleştirilmesi ve değişen akış sonucunda üretim alanında depolanmakta olan ve yalın üretim mantığına aykırı olan delinmemiş iç kapı stoğu ortadan kaldırılmıştır. Bu stok maliyetinin hesaplanmasında literatürde bahsedildiği gibi belirli masraflar, yarı belirli masraflar ve gizli masraflar dahil edildiğinde firmanın finans ekibinin belirlediği iç kapının model bazlı üretim ağırlığına göre maliyeti çalışmanın yapıldığı firmanın finans ekibi tarafından 2,84 EUR olarak hesaplanmıştır.

Üretim departmanı tarafından projenin başında 1 vardiyalık miktarda delinmemiş iç kapı ara stoğu tutulmaktaydı. Bu çalışma sonrasında ortadan kaldırılan ara stok miktarını hesaplayacak olursak 6 montaj hattı için toplam iç kapı sayısını denklem 6.8’deki gibi yazabiliriz.

$$350 * 6 = 2100 \quad (6.8)$$

Üst tarafta belirtilen iç kapı başına 2,84 EUR değerindeki maliyeti de toplam 1 vardiyalık iç kapı sayısı ile çarpacak olursak mevcutta tutmakta olduğumuz ve ortadan kaldırdığımız stoğun kazancını denklem 6.9’daki gibi hesaplayabiliriz.

$$2100 * 2,84 \text{ EUR} = 5964 \text{ EUR} \quad (6.9)$$

6.4 Hatalı Üretim Düşüşü

Akış sebebiyle ara stokların ortadan kalkması başlığında da bahsedildiği gibi yapılan bu çalışma neticesinde bitmemiş olan ara stok ortadan kaldırılmıştır. Çalışma öncesinde ara stoklar üretilip işlem alanına taşındıktan sonra delik delme işçiliği sırasında görsel kontrol yapılmaktaydı. Sıcaklık ile şekillendirme makinesinden çıkmakta olan iç kapılar eğer arka arkaya gelmekte olan bir hata ile üretime başladığında eğer bu problem operatörler tarafından fark edilmezse bütün ara stoklar hatalı ürünlerle dolmakta ve bu da hatalı üretim maliyetlerini artırmaktaydı.

Yeni durumda ise direk makine başında görsel kontrol yapan çalışanlar sayesinde eğer makine veya ona yerleştirilen plastik rulosu sebebiyle bir hata meydana geldiyse anında müdahale edilmekte ve hurda olacak iç kapılar üretilmemektedir. Bu duruma ek olarak 5S iyileştirilmiş ve iç kapılar stoklarda beklerken meydana gelen kırılma ve çizilme gibi sebeplerden hurda olmamaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda iç kapı üretim alanında üretilen iç kapılarda hatalı üretim oranlarında düşüş meydana gelmiştir. Çalışma yapılmadan önce ortalama hatalı üretim oranı bu alan için üretim yazılımlarındaki hesaplamalarda %7 iken çalışma tamamlandıktan sonra bu oran %4 olarak gözlemlenmiştir.

İç kapılar plastik parçalardır. Bu nedenle hurda olan plastik iç kapılar daha sonra kırılarak tekrardan kullanılabilir. Akış sebebiyle ara stokların ortadan kalkması başlığında da belirtildiği üzere, bir iç kapının maliyeti belirli masraf, yarı belirli masraf ve gizli masraf kalemleri dahil edildiğinde modellerin üretimlerinin ağırlıklı ortalamasında yaklaşık olarak 2,84 EUR olarak hesaplanmaktadır.

2,84 EUR maliyetin kırılımına baktığımızda yaklaşık %79'luk plastik parça maliyeti geri dönüştürülebilir bir kalem olduğu için hurda kazancı hesaplarına katılmayacaktır. Bunun dışında kalan %21'lük kesimde yer alan üreten makinenin enerji maliyeti, geri dönüşümünde kullanılan makineler için harcanan enerjinin maliyeti ve bu ürünü üretirken çalışan işçilerin maliyetleri göz önüne alındığında ürün başına yaklaşık 0,596 EUR ürün başına kazanç sağlanmış olmaktadır.

Bu değerlerle bakacak olursak 6 adet montaj hattı ve hat başına 350 adetlik üretim için 3 vardiya ve yıllık 273 gün üretimde üretilecek olan ürün sayısı denklem 6.10'daki gibi olur.

$$6 * 3 * 350 * 273 = 1719900 \quad (6.10)$$

Hatalı üretim oranındaki %3 değişim ile hatalı üretim miktarındaki iyileştirme denklem 6.11'deki gibi 51597 adet olacaktır.

$$1719900 * 0,03 = 51597 \quad (6.11)$$

Malzeme başına geri dönüştürülebilir miktar ile iyileştirme adedini çarptığımızda da kazanç denklem 6.12'deki gibi hesaplanabilir.

$$2,84 * 0,21 * 51597 = 30772,45 \text{ EUR} \quad (6.12)$$

6.5 OEE Artışı

Önceki kazanç hesaplarında da belirtildiği üzere yapılan çalışmalar sonrasında hataların daha erken tespit edilmesi ile iç kapı üretim alanının hatalı üretim oranı

ortalama olarak %7'den %4'e düşmüştü. Bu çalışma ile alanın makine etkinliğinde de hatalı üretim oranı düşüşü sebebiyle artış gerçekleşmiştir.

Yapılan literatür taraması sonrasında OEE değeri için denklem 4.3 ile hesaplandığı bilgisine ulaşılmıştı. Denklem 4.3'te verimlilik ve kullanılabilir zaman değişkenlerini eşitliğin bir tarafında bırakacak olursak denklem 6.13 yazılabilir.

$$\frac{OEE}{\text{Ürün Kalitesi}} = \text{Verimlilik} * \text{Kullanılabilir zaman} \quad (6.13)$$

Makine verimliliği ve kullanılabilir zamanı çalışma sonrasında da değişmediği için sabit olarak alırsak denklem 6.13 kullanılarak ilk ve son durum arasındaki ilişki denklem 6.14'teki gibi yazılabilir.

$$\left(\frac{OEE}{\text{Ürün Kalitesi}} \right)_{ilk\ durum} = \left(\frac{OEE}{\text{Ürün Kalitesi}} \right)_{son\ durum} \quad (6.14)$$

İlk durumda kaliteli üretilen ürün miktarı %93 ve OEE değeri %87 iken yeni durumda kaliteli ürün miktarı %96'ya yükselmiştir. Bu değerleri denklem 6.14'te yerine yerleştirirsek OEE değeri denklem 6.15 yardımıyla denklem 6.16 gibi hesaplanır.

$$\frac{0,87}{0,93} = \frac{OEE_{son\ durum}}{0,96} \quad (6.15)$$

$$OEE_{son\ durum} = 0,898 = \%89,8 \quad (6.16)$$

Hesaplanan bu kazançlara göre Çizelge 6.1'de hepsini özetlenmiş ve bir araya getirilmiş şekilde inceleyebilirsiniz.

Bu sayısal kazançlara ek olarak da çalışma alanında yapılmış olan 5S çalışmaları yalın üretime katkıda bulunmuştur. Bu çalışmalar neticesinde çalışma alanında kullanılmayan ürünler ve gereksiz olan birtakım nesneler alandan uzaklaştırılıp ayıklanmıştır. Kalan ürünlerinde düzenli bir şekilde saklanması ve depolanması sağlanmış ve bu sayede çalışanların yaşayabileceği zaman kayıplarının, gereksiz hareketlerin ve olası iç kapı hurdalarının önüne geçilmiştir.

Çizelge 6.1 : Özet sayısal kazanç çizelgesi.

Kazanç Tipi	Kazanç
Çalışan sayısında azaltma	3 çalışan/vardiya azaltma gerçekleşti
İç kapı üretim alanı çalışan verimliliği	%15 artış gerçekleşti
Fabrika çalışan verimliliği	%0,209 artış gerçekleşti
Çalışan maliyeti düşüşü	46.038 EUR kazanç
Ara stok azaltımı	5.964 EUR kazanç
Hatalı üretim oranı düşüşü	%7'den %4'e düşüş gerçekleşti
Hurda kazancı	30.772,45 EUR kazanç
OEE kazancı	%87'den %89,8'e artış gerçekleşti
Hareket kazancı	1270,39 metre azaltma gerçekleşti

Üçüncü aşama olarak da alınan temizlik aksiyonları ile ortamdaki lekeler temizlenmiş ve görsel olarak iç kapı üretim alanı düzenlenmiştir. Dördüncü adımda da çalışanların belirlenen alanları daha rahat bulması ve yapılanları standart hale gelmesi için aksiyonlar alınmıştır. Son adımda alınan aksiyonlar ile de çalışanlara 5S kültürü aşılanmaya çalışarak alınan aksiyonların devamlı ve kalıcı olması için çalışılmıştır.

Alınan bütün bu aksiyonlar dolaylı olarak verimlilik, kalite ve iş güvenliği gibi konularda iç kapı üretim alanı için bir gelişim sağlamış ve yalın üretim mantığına daha uygun bir üretim yapmasının da önünü açmıştır.

İlerleyen zamanlarda bu çalışma alanı için de yalın üretim başlığı altında incelenen israflar arasına bulunan stoklar konusunda da çalışmalar yapılarak iç kapı üretim alanının yalın üretim mantığı ile çalışması sağlanabilir. Şu anda önceden belirlenmiş miktarlarda olası duruşlar sebebi ile bir vardiyalık stok tutulmaktadır. Fakat bu alanda gerçekten bir vardiyalık stok tutulmasının ihtiyacı hem bu alanda üretim yapan makinelerin etkinliğini belirten OEE değeri, hem de montaj hattının etkinlik değerlerini ve çıktılarını yaşanan duruşların miktarlarını ve sebeplerini, transfer sürelerini, stok tutmanın maliyeti ve stok eksikliği sebebiyle gerçekleşebilecek olan olası üretim kayıplarının maliyetlerini de hesaba katarak değerlendirilebilir. Belirlenecek olan yeni stok miktarı montaj hattındaki üretimi durduracak riski içermemeli ve bu yeni stok miktarına denk gelen stok tutma miktarının maliyeti, belirlenen stok miktarı sebebiyle gerçekleşebilecek olan üretim kayıpları maliyetini karşılayacak şekilde olmalıdır.

Bu çalışma maliyet gerektirmeyecek şekilde üretimin nasıl iyileştirilebileceğini gösteren bir çalışma olduğu için alanda “yerdeki elmalar” olarak nitelendirilebilecek olan ve hızlıca devreye alınabilecek olan iyileştirmeleri içermektedir. Bu çalışmanın ilerleyen aşamalarda daha da geliştirilebilecek bir diğer çalışma ise montaj hatlarının dışında bulunan bu üretim alanını montaj hatlarına entegre ederek tek parça akış sağlamak ve katma değeri olmayan taşıma hareketlerini minimize ederek yalın üretime daha da yaklaştırmaktır. Fakat bu çalışmanın yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olacağı için çalışmanın fizibilitesinin dikkatli bir şekilde yapılması ve uygunluğunun kontrol edilmesi gerekmektedir.

Literatürde yapılan çalışmaları da incelediğimizde literatürde çok sayıda hem zaman çalışmaları hem de ergonomi çalışmaları dijitalleşme ile günümüzde gelişen endüstri 4.0 ile birleştiren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda sensörler, kameralar gibi ekipmanlar kullanarak çalışanların koşulları anlık olarak incelenebilmektedir. Bu doğrultuda bu alanda çalışmakta olan işçilerin de ilerleyen zamanda dijitalleşme ile anlık olarak ergonomilerinin incelenmesi, risk puanlarının yüksek olduğu durumlarında ilgili ekiplere uyarılar verip uygunsuzluklar için aksiyon alınmasının sağlanması gibi sistemlerin kurulması, hem çalışanların kas ve iskelet sistemlerinin korunmasına fayda sağlayacak hem de firmaların çalışanlarda meydana gelecek olan olası rahatsızlıklar karşısında tazminat ödeme ve iş gücü kaybı gibi olası kayıplar yaşamasının önüne geçilecektir.

Ergonomi çalışmalarına ek olarak zaman çalışmaları için de dijitalleşmede kamera ile izleme yöntemleri kullanılabilir. Bu dijitalleşme sayesinde çalışmaların önceden belirlenmiş zaman standartlarından çok fazla sapması durumlarında uyararak montaj ve üretim alanlarında darboğazların belirlenmesi ve aksiyonların belirlenerek geliştirilip iyileştirmesi sağlanabilir. Bu yöntemler yönetimsel olarak ilgili verimlilik ve ergonomi sorumlularının işlerini kolaylaştıracak ve gerekli aksiyon alınması için gerekli olan süreleri kısaltarak hem üretim iş gücünün değil aynı zamanda yönetimsel iş gücünün de etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Assef, F., Scarpin, C. T., & Steiner, M. T.** (2018). Confrontation between techniques of time measurement. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(5), 789-810.
- Ayub, Y., & Shah, Z. A.** (2018). Assessment of work related musculoskeletal disorders in manufacturing industry. *J Ergonomics*, 8(3), 1-5.
- Acar, M. H. & Yılmaz, P.** (1997). Effect of tetramethylthiuramdisulfide on the cationic polymerization of cyclohexeneoxide, *The 2nd International Conferences on Advanced Polymers via Macromolecular Engineering*, Orlando, Florida, USA : April 19-23.
- Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., Persona, A., & Sgarbossa, F.** (2014). Inventory holding costs measurement: a multi-case study. *The International Journal of Logistics Management*, 25(1), 109-132.
- Bappy, M., Musa, M., & Hossain, M.** (2019). Productivity improvement through Line Balancing-A case study in an Apparel Industry. *GSJ*, 7(2).
- Bevan, S.** (2015). Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 29(3), 356-373.
- Bhardwaj, A., Dev, M., Singh, S., & Mor, R. S.** (2017, March). Ergonomic Risk Assessment of Workers in Manufacturing Industry using Posture Analysis Tools. In *5th International Conference of "Advances in Engineering and Technology"(AET-17)*, Singapore (pp. 27-28).
- Bhuiyan, N., & Baghel, A.** (2005). An overview of continuous improvement: from the past to the present. *Management decision*, 43(5), 761-771.
- Bortolini, M., Gamberi, M., Pilati, F., & Regattieri, A.** (2018). Automatic assessment of the ergonomic risk for manual manufacturing and assembly activities through optical motion capture technology. *Procedia CIRP*, 72, 81-86.
- Cakmakci, M., & Karasu, M. K.** (2007). Set-up time reduction process and integrated predetermined time system MTM-UAS: A study of application in a large size company of automobile industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33, 334-344.
- Carvalho, R., Lobo, M., Oliveira, M., Oliveira, A. R., Lopes, F., Souza, J., ... & Freitas, A.** (2021). Analysis of root causes of problems affecting the quality of hospital administrative data: A systematic review and Ishikawa diagram. *International journal of medical informatics*, 156, 104584.

- Çalışkan, C. İ., & Arpacioğlu, Ü.** (2024). Additive manufacturing: a new design approach-LPBF design and production flow chart algorithm. *Progress in Additive Manufacturing*, 1-14.
- Cho, H., Lee, S., & Park, J.** (2014). Time estimation method for manual assembly using MODAPTS technique in the product design stage. *International Journal of Production Research*, 52(12), 3595-3613.
- Crisóstomo, E., & Jiménez, J.** (2021). Application of lean manufacturing (5S and Kaizen) to increase the productivity in the aqueous adhesives production area of a manufacturing company. *Industrial Data*, 24(2), 249-271.
- Dąbrowska, M., & Maciejewska, K.** (2022). Optimising the sealing station in production process of tubes for catalytic converters involving SMED method-a case study. *Technologia i Automatyizacja Montażu*, (2), 15-23.
- Dal, V.** (2010). REFA, MTM ve GSD iş akış süresi belirleme sistemlerinin örnek bir uygulama ile karşılaştırılmalı olarak incelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 3(3), 224-237.
- Daneshjo, N., Rudy, V., Malega, P., & Krnáčová, P.** (2021). Application of Spaghetti Diagram in Layout Evaluation Process: A Case Study. *TEM Journal*, 10(2).
- Dinesh, S. N., Shalini, M., Vijay, M., Mohan, R. V., Saminathan, R., & Subbiah, R.** (2022). Improving the productivity in carton manufacturing industry using value stream mapping (VSM). *Materials Today: Proceedings*, 66, 1221-1227.
- Dogan, Y., Ozkutuk, A., & Dogan, O.** (2014). Implementation of "5S" methodology in laboratory safety and its effect on employee satisfaction. *Mikrobiyoloji bulteni*, 48(2), 300-310.
- Duanmu, J., & Taaffe, K.** (2007, December). Measuring manufacturing throughput using takt time analysis and simulation. In *2007 Winter Simulation Conference* (pp. 1633-1640). IEEE.
- Erdinç, Oguzhan.** (2015). Applications of Quick Exposure Check in industrial tasks and a proposed improvement.
- Falkowski, P., & Kitowski, P.** (2013). The 5S methodology as a tool for improving organization of production. *PhD Interdisciplinary Journal*, 4(1), 127-133.
- Filip, F. C., & Marascu-Klein, V.** (2015, October). The 5S lean method as a tool of industrial management performances. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 95, No. 1, p. 012127). IOP Publishing.
- Fischer, C., Rupprecht, P., & Schlund, S.** (2023). Different approaches of conducting ergonomic assessment utilizing digital human models and motion capture in industrial site assembly. In *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2023)* (pp. 348–358). AHFE International.

- Gebeyehu, S. G., Abebe, M., & Gochel, A.** (2022). Production lead time improvement through lean manufacturing. *Cogent Engineering*, 9(1), 2034255.
- Haddad, T., Shaheen, B. W., & Németh, I.** (2021). Improving overall equipment effectiveness (OEE) of extrusion machine using lean manufacturing approach. *Manufacturing Technology*, 21(1), 56-64.
- Hedman, R., Subramaniyan, M., & Almström, P.** (2016). Analysis of critical factors for automatic measurement of OEE. *Procedia Cirp*, 57, 128-133.
- Hignett, S., & McAtamney, L.** (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*, 31(2), 201-205.
- Inderfurth, K., & Minner, S.** (1998). Safety stocks in multi-stage inventory systems under different service measures. *European Journal of Operational Research*, 106(1), 57-73.
- Islam, M. S., & Ahmed, S.** (2024). Work Standardization in Lean Manufacturing for Improvement of Production Line Performance in SME. *Malaysian Journal on Composites Science and Manufacturing*, 13(1), 68-81.
- Ispăsoiu, A., Milosan, I., Senchetru, D., Machedon-Pisu, T., Ispăsoiu, A. M. F., & Meită, C.** (2021). Study on the application of the QEC (Quick Exposure Check) on the ergonomic risks assessment in the industrial field. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 343, p. 10023). EDP Sciences.
- Jakschik, M., Endemann, F., Adler, P., Lamers, L., & Kuhlenkötter, B.** (2024). Assessing the Suitability of Automation Using the Methods–Time–Measurement Basic System. *Eng*, 5(2), 967-982.
- Jara, B., Calderon, S., & Avalos-Ortecho, E.** (2023). Application of lean manufacturing to increase productivity of a company in the metalworking sector. In *Industrial Engineering and Applications* (pp. 740-753). IOS Press.
- Kalkancı, M.** (2018). Bornoz Üretiminde Bir Operasyon İçin MTM Metodu (Metot Zamanlarının Ölçümü) İle Kronometre Yönteminin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13), 77-83.
- Karad, A. A., Waychale, N. K., & Tidke, N. G.** (2016). Productivity improvement by Maynard operation sequence technique. *Int. J. Eng. Gen. Sci*, 4(2), 657-662.
- Kaushik, P., Khatak, E. N., & Kaloniya, J.** (2015). Analyzing relevance and performance of 5S methodology: a review. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences*, 4(4), 21-33.
- Khalid, A., Razzaque, A., & Ali, M.** (2021). Productivity improvement in textile industry using lean manufacturing practices of 5s & single minute die exchange (SMED). In *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Singapore*.
- Kocher, P., Kalyan, I., & Ojeda-Fournier, H.** (2025). Optimizing biopsy training experience for trainees and faculty: Utilizing 5S methodology with a

- focus on safety. *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 54(2), 127–131. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2024.08.002>
- Kwon, O., & Lee, H.** (2004). Calculation methodology for contributive managerial effect by OEE as a result of TPM activities. *Journal of quality in Maintenance Engineering*, 10(4), 263-272.
- Malaisé, A., Maurice, P., Colas, F., & Ivaldi, S.** (2019). Activity recognition for ergonomics assessment of industrial tasks with automatic feature selection. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2), 1132-1139.
- Mazur, M., Korenko, M., Žitňák, M., Shchur, T., Kielbasa, P., Dostál, P., ... & Idzikowski, A.** (2024). Implementation and benefits of the 5S method in improving workplace organisation—a case study. *Management Systems in Production Engineering*.
- Mleczko, K., & Jasińska, A.** (2020). Verification of Work Ergonomics at Selected Workstations on the Assembly Line—Planning Versus Reality. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 3.
- Morlock, F., Kreggenfeld, N., Louw, L., Kreimeier, D., & Kuhlentötter, B.** (2017). Teaching methods-time measurement (MTM) for workplace design in learning factories. *Procedia Manufacturing*, 9, 369-375.
- Morey, J.** (2020). 5S Method and its Implementation in Company. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(2), 892-895.
- MTM Association e. V.** (2019). MTM-UAS data card – Basic operations. 19 Nisan 2025 tarihinde <https://mtm.org/en/about-mtm/data-cards/mtm-uas-universal-analyzing-system> adresinden edinilmiştir.
- Muri, R., Gandara, G. S., Wirani, A. P., & Hasibuan, S.** (2019). Analysis of Production Process to Improve Lead Time and Productivity in Fabrication by using Lean Methodology. Case Study in Turbine Component Manufacture Company. *Ijresm.Com*, (7).
- Neves, P., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, T., Gouveia, A., & Pimentel, C.** (2018). Implementing lean tools in the manufacturing process of trimmings products. *Procedia Manufacturing*, 17, 696-704.
- Niu, S.** (2010). Ergonomics and occupational safety and health: An ILO perspective. *Applied ergonomics*, 41(6), 744-753.
- Özcan, A. G.** (2021). Ergonomic Risk Assessment in Automotive Welding Lines and Comparison of Method Output. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(4), 645-659.
- Özkaya, K., Polat, O., & Kalinkara, V.** (2018). Physical workload assessment of furniture industry workers by using OWAS method. *The Ergonomics Open Journal*, 11(1), 11-19.
- Palange, A., & Dhatrak, P.** (2021). Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 46, 729-736.
- Pambhar, D., & Pambhar, D.** (2017). Productivity improvement of assembly line using VSM technique. *Int J Sci Technol Eng (IJSTE)*, 3(2001), 17-21.

- Pentti, O.** (2014). Applying the Lean 5S method to laboratories and prototype workshops.
- Persona, A., Battini, D., Manzini, R., & Pareschi, A.** (2007). Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturing components. *International Journal of Production Economics*, 110(1-2), 147-159.
- Poswa, F., Adenuga, O. T., & Mpofu, K.** (2022). Productivity improvement using simulated value stream mapping: a case study of the truck manufacturing industry. *Processes*, 10(9), 1884.
- Rahani, A. R., & Al-Ashraf, M.** (2012). Production flow analysis through value stream mapping: a lean manufacturing process case study. *Procedia Engineering*, 41, 1727-1734.
- Raikar, N. A., Kattimani, P., & Walke, G.** (2015). Use of spaghetti diagram for identification and elimination of waste movements in shop floor for OEE improvement: a case study. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(5), 1145-1149.
- Ramadhani, M., Rukman, R., Prayogo, D., & Ayu, D.** (2018). Assessment analysis of ergonomics work posture on wheel installation with Ovako work posture analysis system (OWAS) method AND rapid entire body assesment (REBA) method preventing musculoskeletal disorders AT Perum PPD Jakarta. *IOSR Journal Of Humanities And Social Science (IOSR-JHSS)*, 23(10), 01-11.
- Realyvásquez-Vargas, A., Arredondo-Soto, K. C., Carrillo-Gutiérrez, T., & Ravelo, G.** (2018). Applying the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle to reduce the defects in the manufacturing industry. A case study. *Applied Sciences*, 8(11), 2181.
- Sadiq, W., & Orłowska, M. E.** (1999, June). Applying graph reduction techniques for identifying structural conflicts in process models. In *International Conference on Advanced Information Systems Engineering* (pp. 195-209). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Sari, A. D., Rahmillah, F. I., & Aji, B. P.** (2017, June). Implementation of 5S method for ergonomic laboratory. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 215, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.
- Schaub, K., Caragnano, G., Britzke, B., & Bruder, R.** (2013). The European assembly worksheet. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 14(6), 616-639.
- Senderská, K., Mareš, A., & Václav, Š.** (2017). Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 79(1), 139-150.
- Seyrek, E. C., Narin, Ö. G., & Eroğlu, M. M.** (2022). Nokta bulutu üretiminde cep telefonu ve DSLR fotoğraf makinesi kullanımının araştırılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 23-29.
- Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K.** (2011). Value stream mapping: literature review and implications for Indian industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53, 799-809.

- Snook, S. H., Campanelli, R. A., & Hart, J. W.** (1978). A study of three preventive approaches to low back injury. *Journal of Occupational Medicine*, 478-481.
- Sojka, V., & Lepšík, P.** (2019, September). Re-layout of workshop based on material and people flows. In *Proceedings of the 19th International Bata Conference for Ph. D. Students and Young Researchers (DOKBAT)*, Zlín, Czech Republic (pp. 6-7).
- Soliman, M.** (2020). Takt time, cycle time, one-piece flow and Hejunka. *Book*, ISBN-13, 979-8698815402.
- Syed Mohammed, Q., S PATIL, V., s., Musa-Olokuta, A., & S M, H.** (2023, November). Ergonomics risk assessment of postures and design of workstation in fastener industry. In *3rd Indian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, <https://doi.org/10.46254/IN03.20230219>.
- Tekin, M., Arslandere, M., Etlioğlu, M., & Tekin, E.** (2018). Büyük Ölçekli Bir İşletmede 5S Uygulaması. *International Journal of Social and Humanities Sciences*, 2(1), 106-122.
- Tomelleri, F., Sbaragli, A., Piacariello, F., & Pilati, F.** (2024). Safe Assembly in Industry 5.0: Digital Architecture for the Ergonomic Assembly Worksheet. *Procedia CIRP*, 127, 68-73.
- Tuan, S. T., Karim, A. N. M., Kays, H. E., Amin, A. K. M. N., & Hasan, M. H.** (2014, January). Improvement of workflow and productivity through application of Maynard operation sequence technique (MOST). In *Proceedings of the 2014 international conference on industrial engineering and operations management* (pp. 7-9).
- Tuzkaya, U. R., & Aksu, İ.** (2013). Üretimde ara stok yönetim süreçlerinin iyileştirilmesi ve bir uygulama. *Beykoz Akademi Dergisi*, 1(2), 47-76.
- Ünal, C., & Narin, K.** (2023). Örme Kumaş Konfeksiyon Üretiminin Önceden Belirlenmiş Zaman Sistemleriyle İncelenmesi. *Tekstil ve Mühendis*, 30(132), 289-296.
- Veres, C., Marian, L., Moica, S., & Al-Akel, K.** (2018). Case study concerning 5S method impact in an automotive company. *Procedia manufacturing*, 22, 900-905.
- Viharos, Z. J., & Bán, B.** (2020). Comprehensive comparison of MTM and Basicmost, as the most widely applied PMTS analysis methods. *17th IMEKO TC*, 10, 20-22.
- Washington State Department of Labor & Industries.** (t.y.). Quick Exposure Check (QEC) Reference Guide. 19 Nisan 2025 tarihinde https://lni.wa.gov/safety-health/_docs/QECReferenceGuide.pdf adresinden edinilmiştir.
- Yamamoto, K., Milstead, M., & Lloyd, R.** (2019). A review of the development of lean manufacturing and related lean practices: The case of Toyota Production System and managerial thinking. *International Management Review*, 15(2), 21-90.

Yetim, H., & Gunduz, T. (2015). Ergonomic analysis of working postures that cause strain on workers that work in hand placement business of transporting Containers. *PressAcademia Procedia*, 1(1), 1-10.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : İsa Emre Gül

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fakülte, Makine Mühendisliği
- **Lisans** : 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fakülte, İşletme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 – 2024 Montaj Prosesleri Mühendisi
- 2024 – 2025 Gövde Altı Entegrasyon Mühendisi