

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKSİYOMATİK TASARIM İLKELERİYLE ENERJİ SEKTÖRÜNDE YALIN UYGULAMALAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selcan USTA

**EYLÜL 2023
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AKSİYOMATİK TASARIM İLKELERİYLE ENERJİ SEKTÖRÜNDE YALIN
UYGULAMALAR**

Selcan USTA

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 / 08 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 22 / 09 / 2023

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ömer Faruk YILMAZ
ORCID : - - -

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

Günümüzde hızla ilerleyen teknoloji ve küreselleşme ile birlikte şirketler, küresel pazarda rekabet etmek zorunda kalmaktadır. Rekabet koşulları giderek zorlaşmakla birlikte işletmeleri piyasada farklılaşmaya ve aynı zamanda maliyetleri düşürmeye zorlamaktadır. Bu durum, müşterilerin kalite beklentilerini artırarak, şirketleri daha iyi ürün ve hizmetler sunmaya yönlendirmektedir. Mevcut rekabet ortamında işletmeler, müşterilerinin beklentilerini karşılayacak özgün tasarımlarını, uygun fiyatlarla ve kısa sürede ürünlerini müşterilerine ulaştırmak için çaba göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında enerji sektöründe yer alan bir firmanın, yalın dönüşümü aksiyomatik tasarım ilkeleriyle ele alınacaktır. Değer akış haritalama yöntemi ile mevcut durum görselleştirmesi sağlanarak israf noktaları belirlenecek, kaizen önerilerinde bulunacak ve ele alınacak çalışan atama problemi için bir matematiksel model önerilecektir.

Yapılan tez çalışmasının hazırlanması sürecinde yardım ve desteğini esirgemeyen, uzakta olmama rağmen her daim sabırla yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Ömer Faruk YILMAZ 'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında yardımlarından ve manevi desteklerinden dolayı başta babam Dinçer USTA olmak üzere tüm aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımda büyük kıymeti ve değeri olan sevgili dedem Selim USTA anısına...

Selcan USTA

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Aksiyomatik Tasarım İlkeleriyle Enerji Sektöründe Yalın Uygulamalar” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Ömer Faruk Yılmaz’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22/09/2023

Selcan USTA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
3. ÇALIŞMA KAPSAMINDAKİ TEMEL KAVRAMLAR	9
4. YÖNTEMBİLİM.....	29
4.1. Problem Tanımı.....	29
4.2. Önerilen Yöntembilim.....	30
5. UYGULAMA.....	34
5.1. Firma Süreç Analizi.....	34
5.2. Mevcut Durum Haritası.....	41
5.3. Aksiyomatik Tasarım Uygulaması	44
5.4. Gelecek Durum Haritası.....	61
5.5. Matematiksel Model.....	64
5.6. Süreç İyileştirme Çalışmaları	69
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
7. KAYNAKLAR.....	90
8. EKLER	95
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

AKSİYOMATİK TASARIM İLKELERİYLE ENERJİ SEKTÖRÜNDE YALIN UYGULAMALAR

Selcan USTA

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ömer Faruk YILMAZ
2023, 94 Sayfa, 6 Sayfa Ek

Aksiyomatik tasarım yöntemi, tasarımcılara verilen tasarım problemi için çözümleri değerlendirme olanağı sağlayan bir sistemdir. Bu yöntem, tasarımcıların tasarımlarını sürekli olarak iyileştirmelerine, hatalı ve sorunlu süreçleri azaltmalarına ve alternatifler arasından en iyi olanı seçmelerine yardımcı olur. Bu tez kapsamında enerji sektöründe yer alan bir firmanın yalın dönüşümü için aksiyomatik tasarım kullanılmıştır. Aksiyomatik tasarımın bir aşamasında yalın üretim tekniği olan değer akış haritalama yöntemi, işletmelerde üretim sürecinin detaylarını gösteren ve üretim sürecinin anlaşılmasını sağlayan bir araçtır. Bu haritalar sayesinde akıştaki darboğazlar tespit edilmiş kaizen önerileri yapılmıştır. Aksiyomatik tasarım yalın dönüşüm süreç aşamalarının nasıl yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Ele alınan çalışan atama problemi için bir matematiksel model önerisi yapılmıştır. Bu model çalışanlar arasındaki iş yükü dengesizliğini minimize etmek amacını içermektedir. Yöntembilimin uygulanması ile işçi sayısındaki farklılığın toplam çalışma süresine olan etkisi görülmektedir. Çalışma planı işçi sayısını kişi başı ortalama çalışma süresine göre temel alınıp dengeli bir dağılım yapılabildiğini göstermektedir. Firma yalın dönüşüm sürecini sistematik bir şekilde ele aldığı anda israf noktaları, atıl süre ve maliyetlerin minimize edildiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aksiyomatik tasarım, Yalın üretim, Değer akış haritaları, Matematiksel model, Enerji

Master Thesis

SUMMARY

LEAN APPLICATIONS IN THE ENERGY SECTOR WITH AXIOMATIC DESIGN PRINCIPLES

Selcan USTA

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Doç. Dr. Ömer Faruk YILMAZ
2023, 94 Pages, 6 Pages Appendix

Axiomatic design method allows designers to evaluate solutions for a specified design problem. Designers can select the best alternatives that reduce faulty and challenging progressions. Within the scope of this thesis, axiomatic design was used for the lean transformation of the company in the energy sector. Value stream maps, which are one of the lean production techniques at one stage of axiomatic design, are a tool that shows the details of the production process in enterprises and provides an understanding of the production process. Thanks to these maps, the bottlenecks in the flow were determined and kaizen suggestions were made. Axiomatic design reveals how the lean transformation process stages should be managed. A mathematical model has been proposed for the employee assignment problem. This model includes the aim of minimizing the workload imbalance among employees. With the application of the methodology, the effect of the difference in the number of workers on the total working time is seen. The work plan shows that a balanced distribution can be made when the number of workers is based on the average working time per person. Systematic handling of the lean transformation process by the company minimizes the cost, reveals the waste points and indolent time.

Key Words: Axiomatic design; Lean manufacturing; Value stream maps; Mathematical Model, Energy

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Tasarımın hiyerarşik olarak indirgenmesi (Yaşar vd. , 2005).....	13
Şekil 2. Sürekli iyileştirme çevrimi	31
Şekil 3. Mevcut durum haritası.....	43
Şekil 4. FR'nin ayrıştırılması	45
Şekil 5. FR1'in ayrıştırılması	46
Şekil 6. FR2'nin ayrıştırılması	47
Şekil 7. FR21'in ayrıştırılması	48
Şekil 8. FR211'in Ayrıştırılması	49
Şekil 9. FR2113'ün ayrıştırılması.....	50
Şekil 10. FR21134'ün ayrıştırılması.....	51
Şekil 11. FR22'in ayrıştırılması.....	52
Şekil 12. FR221'in ayrıştırılması	53
Şekil 13. FR2211'in ayrıştırılması	54
Şekil 14. FR2212'nin ayrıştırılması	55
Şekil 15. FR23'ün ayrıştırılması.....	56
Şekil 16. FR231'in ayrıştırılması	57
Şekil 17. FR232'nin ayrıştırılması	58
Şekil 18. FR3'ün ayrıştırılması.....	59
Şekil 19. Yalın üretim sisteminin AD ile tasarımın ayrıştırılması	60
Şekil 20. Gelecek durum haritası.....	63
Şekil 21. Galvaniz atölyesi yerleşimi	72
Şekil 22. Galvaniz atölyesi ürün akışı	72
Şekil 23. Paravan	75
Şekil 24. Yeni aparat	75
Şekil 25. Önceden kullanılan takım dolaplarından biri	76
Şekil 26. Mevcut kullanılan kullanılmakta olan takım dolabı.....	76
Şekil 27. Mevcut numarator kutusu.....	77
Şekil 28. Önerilen numarator kutusu	77
Şekil 29. Ekonomik sipariş miktarı ekranı	81

Şekil 30. Hammadde depo düzeni	83
Ek Şekil 1. Genel süreç eksiklikleri	95
Ek Şekil 2. Siyah park iş yoğunluğu	95



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. DAH Veri kutusu bilgileri.....	20
Tablo 2. Malzeme formatları.....	37
Tablo 3. Ürün makine matrisi.....	41
Tablo 4. Mevcut durum bulanık işlem süreleri	42
Tablo 5. Gelecek durum işlem süreleri.....	61
Tablo 6. Gams program çıktısı	67
Tablo 7. Gams sonuç analizi	68
Tablo 8. Gruplama analizi	69
Tablo 9. Birinci operasyon yüzdeleri	70
Tablo 10. İkinci operasyon yüzdeleri	71
Tablo 11. Ölçülen zamanlar.....	73
Tablo 12. Normal ve standart zaman verileri	74
Tablo 13. Arıza tipleri	79
Tablo 14. Optimum sipariş miktarı	81
Tablo 15. Hammadde depo süreç riskleri.....	84
Ek Tablo 1. Mevcut durum hazırlık süreleri.....	96
Ek Tablo 2. Mevcut durum stok miktarları (adet cinsinden).....	96
Ek Tablo 3. Stok süreleri (gün cinsinden)	97
Ek Tablo 4. Gelecek durum işlem süreleri	97

SEMBOLLER DİZİNİ

AT	Aksiyomatik Tasarım
DAH	Değer Akış Haritaları
DP	Tasarım Parametreleri (Design Parameter)
FR	Fonksiyonel Gereksinimler (Functional Requirement)
JIT	Tam Zamanında Üretim (Just In Time)
SMED	Tek Dakikada Kalıp Değişim (Single Minute Exchange of Die)
TPM	Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance)

1.GİRİŞ

Günümüzde küresel rekabet hızla artmaktadır ve işletmelerin sürdürülebilirliklerini sağlaması için süreçlerini iyileştirmeleri gerekmektedir. Bu da çağın gerektirdiği teknolojiye ayak uydurmak ve esnekliği geliştirmek anlamına gelir. Müşteri beklentilerinin hızla değişmesi, fiyatların müşteri tarafından belirlenmesi ve enerji, hammadde ve işçilik maliyetlerinin sürekli artması, üreticileri daha verimli olabilmek için sürekli olarak yeni sistemler arayışına yöneltmiştir. Verimlilik elde etmek için israfı önlemek ve kaynakları etkin bir şekilde kullanmak gerekmektedir(Cesur, 1997). Bunun başarılması için yalın dönüşüm yöntemi kullanılabilir. Yalın dönüşüm, işletmelerin tüm süreçlerini, müşteriler için değer taşımayan israflardan arındırarak toplam akış süresini kısaltmayı hedefleyen operasyonel, kültürel ve yönetsel bir değişimdir. Yalın dönüşümün amacı net bir şekilde belirlenir, faaliyetlerin bu amaca ulaşmak için ayrımları yapılır ve gereksiz faaliyetler ortadan kaldırılarak amaca ulaşılır. Yalın dönüşümle işletmeler, müşterilere istedikleri ürünleri zamanında, en düşük fiyatla ve en yüksek kaliteyle sunmaya odaklanır. Yalın üretim teknikleri kullanılarak minimum kaynak ve maliyetle, en kısa sürede, sıfır hatalı üretim gerçekleştirilir(Karlsson,1996). Ancak yalın üretim çalışmalarının çoğunluğu belirli ön koşulları sağlayan ortamlarda yapılmaktadır. Bu koşullar arasında talebin düzenli ve dengeli olması, ürün çeşitliliğinin sınırlı olması ve tedarikçilerden istenilen ürünün istendiği zamanda temin edilebilmesi gibi önemli faktörler bulunmaktadır. Bu durum, farklı bir ortamda yalın üretimin uygulanıp uygulanamayacağına dair önemli bir soruyu akla getirmektedir. Talebin düzensiz ve değişken olduğu, ürün çeşitliliğinin fazla olduğu ve üretim hacminin düşük olduğu ortamlarda yalın üretim hakkında daha az çalışma yapılmıştır. Yalın üretimin genellikle belirli koşullara sahip ortamlarda uygulanır. Ancak farklı ortamlarda uygulanabilirliği hakkında daha fazla çalışmanın gerektiği de söylenebilir(Rother ve Shook, 1999). Küreselleşen dünyada teknolojinin ilerlemesiyle birlikte enerji ihtiyacı ve tüketimi hızla artmaktadır. Birçok kurum için enerji, değer yaratma süreçlerinin temel girdisi konumundadır ve bu nedenle enerji üzerine çalışan kurumların sayısı her geçen gün çoğalmaktadır. Bu kurumların ana hedefi, mevcut enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanmanın yollarını belirlemektir, çünkü enerji kullanımı kurumlar için önemli bir maliyet kalemidir. Maliyetleri azaltmak için enerjinin verimli bir şekilde kullanılması zorunlu hale gelmektedir.

Dünya genelinde enerji farklı amaçlar için birçok sektörde kullanılmaktadır. Detaylı bir analiz yapıldığında, ulaşım, sanayi, konut, çevrim ve enerji dışı sektörler gibi farklı alanlar ortaya çıkar. Zein, Li, Herrmann ve Kara (2011) tarafından geliştirilen bir matris, Aksiyomatik Tasarım (AD) kullanılarak tezgâhların enerji verimliliğini artırmak için fonksiyonel gereksinimleri tasarım parametreleriyle ilişkilendirmektedir. Ogot (2011) ise AD ve TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) yöntemlerini bir arada kullanarak, her iki yöntemin güçlü yönlerinden yararlanan ve zayıf noktalarını en aza indiren bir sentez modeli geliştirmiştir. Bu çalışmada, AD bağımsızlık aksiyomu prensipleri TRIZ çerçevesi içinde kullanılarak enerji sektöründe yalın uygulamalara odaklanılmıştır. Bu çalışmada, enerji sektörü ana sektör olarak ele alınmaktadır. Enerji sektöründe yer alan enerji nakil hattı direkleri çeşitliliği sebebiyle her fabrika için üretimi en zor bölüm olmuştur. Bu bölümün planlaması ve imalatı da buna bağlı olarak zorlaşmaktadır. Ani gelen projeler, terminlerin kısa verilmesi, üretimde çıkan aksaklıklar sebepleriyle sürekli bir proje yetiştirme telaşı ve yoğunluğu vardır. Bu sebepler direk üreten çoğu firma iki veya üç vardiya sistemiyle çalışarak aslında proje tipi olmasına rağmen seri üretim gibi üretimlerini yapmaya devam etmektedir. Direk yapımı süreci kesme, delim ve galvanizleme şeklindedir. Ancak gerek proje tipi olmasından dolayı gerekse acil durumlarına göre üretimin yapılmasından dolayı süreç bu kadar basit şekilde ilerlememektedir. Ayrıca delik çap ve toleranslarının projeden projeye farklılık göstermesi de problemlerden biridir. Çalışma yapılan firma enerji nakil hattı direkleri, poligon direkleri, trafo yapıları, çelik yapılar, telekomünikasyon direkleri, bayrak direkleri, yapısal bağlantı elemanları, teleferik direkleri, reklam direkleri, radar haberleşme ve gözetleme kuleleri gibi yapıların üretimini gerçekleştirir. Merkez fabrika olarak adlandırdığımız çalışmayı yaptığımız fabrikada bu yapılardan enerji nakil hatları, anten yapıları ve çelik yapılar üretilmektedir. Yalın üretim süreci ürünlerin rekabet güçlerini devamlı geliştirebilmek amacıyla, kalite ve verimliliğin üst sınırlarını sürekli zorlayarak üretimi “sıfır kayıp ve sıfır hata” seviyesine ulaştırmak için uygulanabilecek bir sistemdir(Rother ve Shook, 1999). Enerji sektörü olarak geçen elektrik direği üretimi yapan fabrikalar gerek malzemelerin ağır ve uzun olmasından gerek toleranslarının farklı olmasından dolayı fabrikalar genelinde yalın üretim düşüncesine kapalıdır. Genellikle proje tipi ürün üreten fabrikalarda günü kurtarma, siparişi yetiştirme mantığıyla hareket ederek çalıştığı için ‘acil sipariş’ adı altında sürekli bir işi yetiştirmeye çalışmaktadır. Seri üretimden bağımsız olarak her parçanın ve her ürünün farklı olduğunu düşünürsek bu yaklaşım geleneksel düşüncede yanlış değildir. Ancak yalın üretim felsefesini ilke edinerek

alışılması durumunda haftalık, aylık ve yıllık olarak küçük bir değışimin ne kadar büyük bir fark yarattığı ortadadır. Uygulama yapılan fabrika ilk adımı başlatmış ve ardından ilerleyen aşamalarda TPM Ofis kurulmuştur. Yalın dönüşüm bir anda gerçekleşecek bir uygulama değil yalın ilkelerini ve felsefesini fabrika bünyesinde oluşturarak sürekli iyileştirmeye dayalı bir sistemdir. İncelenen fabrika bunun bilincinde olup öncelikli olarak küçük gruplar halinde yalın kültür eğitimiyle başlangıç yapmıştır. Öncelikli olarak yalın felsefesi anlatılarak daha sonra küçük gibi görünen ama uzun vadede karlılığı arttıran uygulamalar gerçekleştirmiştir. Yalın üretim teknikleri ilk aşamadan 5S ile başlanarak hazırlık sürelerinin iyileştirilmesi, bakım onarım çalışmaları, otonomasyon teknikleri ile büyüüp giden bir yolculuktur.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ve literatüre katkıları aşağıdaki maddelerde özetlenmiştir.

- Yalın dönüşüme ihtiyaç olan bir işletmede aksiyomatik tasarım ilkeleri kullanılarak yalın dönüşümün aşamalar halinde işletmeye uygun bir şekilde bir yol haritası sunulmuştur. Aksiyomatik tasarım yol haritası sunmamıza yardımcı olmuştur. Bu yol haritasında geriye dönük hareket olmayacak, hızlı ve uygun bir şekilde nasıl dönüşüm yapılabileceği açıklanmıştır.
- Enerji sektöründe yer alan bir firma için süreç analizi yapılmış ve mevcut durum haritası çıkarılmıştır.
- Değer akış haritalandırmada termin, hazırlık ve işlem sürelerindeki belirsizlik nedeniyle bulanık sayılar kullanılmıştır.
- Süreç iyileştirme çalışmaları yapılarak kaizen önerilerinde bulunulmuştur. Sürekli iyileştirme çevrimi oluşturulmuştur.
- Bu yöntem ilk defa bu sektörde uygulanmıştır. Matematiksel model çalışanlar arasındaki iş yükü minimizasyonunu dikkate alacak şekilde çalışan atama problemi için geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması şu şekilde devam etmektedir: İkinci başlık literatür araştırması bu bölümde aksiyomatik tasarım yalın dönüşüm teknikleri ve matematiksel model için analiz yapılmıştır, üçüncü bölümde çalışma kapsamındaki temel kavramlara yer verilmiştir. Dördüncü başlıkta uygulama yapılacak fabrikadaki problem tanımı ve önerilen yöntem bilim ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Beşinci başlıkta ise fabrikada yapılan çalışmalar, değer akış haritası, aksiyomatik tasarım, analizler ve hesaplamalar anlatılmıştır. Son olarak altıncı bölümde ise yapılan uygulama sonuçları ve yorumlama yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Cochran ve Reynal (1996), imalat sistemlerini tasarlamak için aksiyomatik tasarımı kullanmışlardır. Çalışmalarında, dört farklı üretim sisteminin performansını analiz etmek için üretilen iki fonksiyonel ihtiyaç kullanılmıştır. Suh vd. (1998), yalın prensipleri içeren bir yöntemi Aksiyomatik Tasarım yaklaşımını kullanarak müşteri istekleri doğrultusunda ideal bir üretim sistemi tasarlamak için geliştirmiştir. Bu yöntem, kalite, maliyet ve teslim süresi ölçütlerini sağlayan bir üretim sistemi tasarlamayı amaçlamaktadır ve karma ürünler üreten bir üretim sistemi tasarımcısına rehberlik etmektedir. Bu çalışma, Aksiyomatik Tasarım yaklaşımını kullanan ilk çalışmalardan biridir ve bağımsızlık aksiyomunu kullanmıştır. Babic (1999), esnek imalat sistemlerinin düzenlenmesi için bir karar destek sistemi geliştirmek amacıyla aksiyomatik tasarım teorisini kullanmıştır. Geliştirilen yöntem bilim, tasarımcılar için etkin bir karar destek sistemi gibi çalışarak uygun esnek imalat sistemi konfigürasyonunu belirlemede kullanılmıştır. Gu vd. (2001), üretim sistemlerinin tasarımı için aksiyomatik tasarım yaklaşımı ve sistematik tasarım yaklaşımının kombinasyonunu kullanarak bir metot sunmuşlardır. Ayrıca bu metodun bir uygulamasını da sunmuşlardır. Lee vd. (2001), makine kontrol sistemlerinin sistematik tasarımı ve uygulaması için aksiyomatik tasarıma dayanan yapısal bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımı, endüstriyel bir kimyasal-mekanik parlatma (CMP) makinesinin kontrol sistemi geliştirmek için kullanmışlardır. Hwang vd. (2002), Aksiyomlarla Tasarım metodunda düşük seviyelerdeki fonksiyonel ihtiyaçların bağımsızlığının, tasarımın kalitesinin belirlenmesinde önemli bir özellik olduğunu vurgulamaktadırlar. Hou ve Wen (2007), çalışmalarında aksiyomatik tasarımın bağımsızlık aksiyomunu kullanarak motosiklet kolu için çoklu robot entegre kaynaklama sisteminin tasarımını tanımlamıştır. Ayrıca, otomobil besleme modülünün optimize edilmiş tasarımını incelemek için bilgi aksiyomunu kullanmışlardır. Schnetzler vd. (2007), tedarik zinciri metodolojisi perspektifini geliştirmek amacıyla aksiyomatik tasarım yaklaşımının tedarik zincirlerine uygulanabilirliğini önermiş ve göstermiştir. Yöntemin uygulanabilirliği bir vaka çalışması ile gösterilmiştir. Zhu ve diğerleri (2008) bilgi tabanlı bir tasarım destek sistemi kullanarak tasarım metodolojisini geliştirmiştir. Sistem tasarımcıların zeka yasalarına dayalı bir indüksiyon yönteminin enerji emicisi hakkındaki bilgilere dayanarak optimum bir tasarım elde etmelerini sağlar.

Öte yandan, indüksiyon için mevcut bilgi yok ise, bilgi tabanı tasarım sonuçları üretmek için bir hesaplama aracı sağlar. Buna ek olarak, ilgili destekleyici bilgiler, karar verme görevlerini desteklemek için metin ve görüntü şeklinde sisteme entegre edilir. Aynı yıl yapılan bir çalışmada Cavique ve Coelho (2008), aksiyomlara göre tasarımın yeni tasarımları iyileştirmek için bir teori olduğunu ve aynı zamanda gerçekleştirilmiş tasarımların kalitesini değerlendirmek için de kullanılabileceğini belirtmektedir. Yazarlar aksiyomlara göre tasarım yöntemini ısıtma ve havalandırma sistemlerinin tasarımına uygulamış ve bazı özel uygulamaların tasarım kalitesine ilişkin sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmanın amacı, güney Avrupa iklimindeki ticari binaların enerji tüketimini ve uygunluğunu belirlemektir. Satoğlu (2009) tez çalışmasında kısmî tek parça akışının uygulandığı melez üretim sistemlerinin tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım metodolojisini kullanan bir yol haritası önermiştir. Tek parça akışının uygulanabilmesi için parçaların hücreler arası hareketlere neden olan istisnai operasyonlar yok etmek amacıyla tasarım algoritması oluşturulmuştur. Yılmaz vd. (2020), montaj hattı dengeleme için aksiyomatik tasarım yöntemi uygulanmıştır. Önerilen yöntemin operatörlerin boşta kalma süresini %12, iş istasyonları arasındaki dengesiz iş yükünü %38 ve toplam işçi sayısını %12 azaltmada etkili olduğunu göstermektedir. Bu iyileştirmeler sonucunda üretim hacmi %23 oranında artırılmıştır.

Dar-El ve Rabinovitch (1988), tek modellenli bir montaj hattının tasarımında çevrim süresi ve istasyon sayısı kombinasyonunu optimize etmek için bir model geliştirmiştir. Geleneksel sürekli üretim sistemi yerine kesikli üretim sistemi kullanarak basit bir montaj hattını dengelemek için finansal koşulları araştırmışlardır. Kesikli üretim yönteminde kullanılan faktörler öğrenme, envanter, dengeleme, kurulum maliyetleri ve ekipman maliyetleridir. Dar-El ve Rabinovitch, 20 ila 4.000 montaj ürünü olan firmalarda yaptıkları çalışma sonucunda, kullandıkları parti üretim yöntemi ile en fazla finansal tasarrufun 1.000 montaj ürününün üretiminde sağlandığını tespit etmişlerdir. Houshmand ve Jamshidnezhad (2006) da süreç değişkenlerini kullanarak yalın üretim sistemi tasarımı için aksiyomatik bir modelleme sunmuşlardır; AT metodolojisini izleyerek fonksiyonel gereksinimler, tasarım parametreleri ve süreç değişkenlerini içeren yalın üretim sistemi tasarım sürecinin aksiyomatik bir modellemesini geliştirmişlerdir. Modelleme için hiyerarşik bir yapı geliştirilmiştir. Riezebos vd. (2009) yalın üretim ile bilgi teknolojileri arasındaki ilişkiyi ve bilgi teknolojilerinin yalın üretim ilkelerine ulaşmadaki rolünü araştırmışlardır. Araştırmacılar, üretim, lojistik ve bilgisayar destekli üretim yönetimi sistemlerinin

bileşenlerini analiz ederek bilgi teknolojisinin yalın üretime uygulanmasını açıklamaya çalışmışlardır. Yaptıkları araştırma sonucunda, farklı üretim sektörlerinin, uygulama veya yöntemlerdeki değişikliklerden sonra bileşenlerin bilgi teknolojisi sistemlerine entegrasyonunun değişen derecelerde olduğunu belirtmektedir. Wong vd. (2009), kullanılan yalın üretim yöntemleri açısından Malezya elektrik ve elektronik sektörü için yalın üretim yöntemlerinin etkilerini ve faydalarını belirlemeye çalışmıştır. Üretim araçlarının kullanımına ilişkin bir anket çalışması yürütmüştür. Anketi 350 küçük ve orta ölçekli işletmeye (KOBİ) uygulamışlardır. Anketlerde yalın üretim kavramının şirketler için ne anlama geldiği sorulmuş ve en yaygın yanıtlar sırasıyla atık azaltma, sürekli iyileştirme ve yalın üretim araçları yoluyla operasyonel iyileştirme olmuştur. Wong ve arkadaşları çalışmalarında, yalın üretim araçlarını 10 yıldan uzun süredir kullanan şirketlerin teknikleri benimseme oranının daha yüksek olduğunu ve yalın üretim araçlarını 10 yıldan az süredir kullanan şirketlere kıyasla daha fazla fayda elde ettiklerini bulmuşlardır. Nordin, vd. (2011), Malezya'daki üç otomotiv şirketinin yalın üretime geçiş sürecinde yaşadıkları örgütsel değişimleri ve bu değişimleri etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Üretimle birlikte şirketlerin üretime bakış açılarının değiştiği ve şirketlerde köklü değişiklikler yapıldığı belirtilmiştir. Katılımcı üç işletmede yalın üretim ekipleri oluşturulmuş ve ekipler aracılığıyla tüm çalışanlara yalın üretimin tanıtılması amacıyla değişimin nedenleri anlatılmıştır. Sistemin kalıcılığının işletmenin yalın üretime geçiş süresi ve kuruluş yılı ile doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir. İşletmelerden biri yerel bir şirket, biri yabancı bir şirket ve diğeri de bir ortak girişimdir. Yerli işletmelerde yalın üretimin karlılığı ve uygulanabilirliği diğerlerine göre daha düşük olarak değerlendirilmiştir. En kârlı ve sürdürülebilir olanlar yabancı sermayeli işletmelerdi. Bu durumun şirketin konumu, ekonomik avantajı ve tedarikçilerinin potansiyeline göre şekillendiğini belirtmişlerdir. Tyagi vd. (2012), cep telefonu ürün ailelerinin tasarlanması ve toplam kârı en üst düzeye çıkaran ve toplam üretim maliyetlerini en aza indiren çoklu platform mimarilerinin araştırılması problemini çözmek için bulanık bir hedef programlama yaklaşımı önermiştir. Keskin (2013), bir üretim şirketinde enerji verimliliği çalışması kapsamında değer akış haritalarının kullanımını doğrulamaktadır. Mevcut durum değer akış haritasında enerji tüketimi analiz edilmiştir. Gelecek durum haritasının oluşturulması adımı, farklı seçeneklerin değerlendirilmesi ihtiyacını önlemek için bayesian ağları kullanılmıştır. Değer yaratmayan enerji kullanımının önüne geçilerek %80 oranında tasarruf sağlanabileceği öngörülmektedir. Sihag vd. (2014) küçük bir otomotiv endüstrisindeki mevcut durumu haritalamak için bir

değer akışı haritalama aracı uygulamıştır. Mevcut durumu analiz ederek ve katma değeri olmayan faaliyetleri ortadan kaldırarak, süreç envanterinde, üretim teslim süresinde ve üretim süresinde önemli iyileşmeler göstermişlerdir. Çalışma, süreç envanter süresinin üç günden bir güne indirildiğini ve %33,33'lük bir iyileşme sağlandığını göstermektedir. Süreç teslim süresi %52,94 ve süreç süresi %80,69 oranında azalmıştır. Rohac ve Januska (2015) sağlık sektörü için plastik ürünler üreten bir imalat şirketinin değer akışı analizini gerçekleştirmiştir. Maliyet, lojistik ve kalite incelenmiştir. Çalışmada maliyetler açısından önemli kazanımlar elde edildiği ve lojistik açıdan yetersiz depolama yerleri nedeniyle harici depolama kullanımının engellendiği tespit edilmiş; DAH uygulaması sonucunda gelecekteki durum analiz edilmiş ve iyileştirme döngüleri listelenmiştir. Bulut ve Altunay (2016), Kayseri ilinde faaliyet gösteren ve mobilya sektöründe lider olan bir firmada yalın üretim felsefesini hayata geçirmek için değer akış haritalama tekniklerini kullanarak israfı en aza indirmeyi ve süreç verimliliğini artırmayı amaçlamıştır. Çalışma sonucunda, üretim sistemlerini yeniden değerlendirerek, mevcut durumu bir bütün olarak inceleyerek ve israfın nedenlerini belirlemek için değer akış haritalama tekniğini kullanarak bir yol haritası elde etmişlerdir. Planlanan iyileştirmelerden sonra, delme hattının yaklaşık 261 birim/vardiya, kenar düzeltme hattının ise 576 birim/vardiya fayda sağlayacağı hesaplanmıştır. Sarucan ve Yılmaz (2019), yöntemi Konya'da katlanır bomlu vinç üretimi yapan bir firmanın montaj alanında uygulamıştır. İyileştirmeler sonucunda, montaj alanının verimliliği işgücünü değiştirmeden %50 arttı. Montaj hattındaki dokunma süresi 540 dakikadan 360 dakikaya düşürüldü. Çalışma alanı %27 oranında arttı. Toplam üretim akışı %79 ve toplam işleme süresi %34 oranında iyileştirildi. Albayrak (2019) tarafından yapılan çalışmada, soğutma tesislerinde enerji tüketen süreçleri belirlemek için değer akış haritaları kullanılmış ve tüketim değerlerinin azaltılması hedeflenmiştir. Tüketimi azaltmak için enerji verimliliği odaklı yalın bir yaklaşım seçilmiştir. Sonuç olarak, yüksek tüketim değerlerine sahip hangi alanlara yatırım yapılması gerektiğine karar verilmektedir. Sevgili ve Antmen (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, ağır ekipman bileşenleri üreten bir Adana metal işleme tesisi, uygun olmayan ürünler üzerinde sık sık yapılan değişiklik çalışmalarını ortadan kaldırmak için A3 yalın problem çözme tekniğini uygulayarak toplam üretim süresini azaltmayı ve üretkenliği ve çıktıyı artırmayı amaçlamaktadır. Şirket, DAH ve A3 düşünmenin birlikte kullanılmasının üretim akış süresini 360 dakika azaltacağını ve azalan üretim akış süresinin müşteri talebine daha hızlı yanıt verilmesini ve daha sık sevkiyat yapılmasını sağlayacağı öngörmektedir. Gültekin (2020), yalın düşünce ilkeleri

çerçevesinde üretim sürecindeki israf nedenlerini belirlemek ve ortadan kaldırmak için Kayseri'deki bir firmanın yatak ürün yelpazesi için değer akış haritalaması gerçekleştirmiştir. İsraf kaynaklarını tespit etmek için öncelikle bir mevcut durum haritası çıkarılmış ve uygulama sonucunda firmanın üretimini haftada yaklaşık 150 adet artırabileceği tespit edilmiştir. Demirci ve Gündüz (2020) tekstil sektöründeki bir üretim sürecinde DAH ve MTM-UAS (Methods Time Measurement - Universal Analysis System) yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Çalışmanın sonuçları, üretim teslimat sürelerinde azalma, katma değer yaratan faaliyetler arasında iyileştirmeler, gerçek vücut hareketlerinin standartlaştırılması ve gereksiz hareketlerin ortadan kaldırıldığını gösterdi. Elde edilen veriler, teslimat sürelerinde %56'lık bir azalma ve katma değer yaratmayan faaliyetlerin süresinde %57'lik bir iyileşme ile sonuçlanmıştır. Yılmaz vd. (2020), aksiyomatik tasarım ve bulanık değer akışı haritalamayı kullanarak müşteri odaklı yeni bir yalın üretim sistemi önermişlerdir. Sürelerin belirsiz olması sebebiyle bulanık sayılar kullanılmıştır. Önerilen yalın üretim tekniği ile süreçler israflardan arındırılmış müşteri taleplerine cevap verebilen sistem tasarımı yapılmıştır. Bilici ve Kosanoğlu (2021) tarafından yapılan çalışmada, yalın üretim tekniklerine sahip bir tekstil fabrikasında DAH kullanılarak tespit edilen darboğazların iyileştirilmesi için tüm istasyonlar incelenmiş ve yaşanan sorunlar tespit edilmiştir. Çalışma, paketlenme ve hamur işleri departmanları arasındaki aşırı stoklamanın, uzun hammadde tedarik sürelerinin ve bazı makinelerin verimsiz çalışmasının en yüksek puanları alan konular olduğunu ortaya koymuştur.

Literatürde yapılan çalışmalar dikkate alındığında aksiyomatik tasarım, yalın dönüşüm, değer akış haritalandırma ve çalışan atama problemlerini birlikte ele alıp uygulayan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle enerji sektöründe enerji nakil hattı süreci için yapılan bir çalışma yoktur. Termin ve işlem sürelerinin belirsizliği durumunda hangi yöntemin uygulanacağı ile ilgili bir yöntembilim önerisi bulunmamaktadır. Bu tez kapsamında bu eksiklikler ele alınarak enerji sektöründe yer alan bir firmanın yalın dönüşümü aksiyomatik tasarım ilkeleriyle ele alınacak ve sürekli iyileştirme için bir yöntembilim önerisinde bulunulacaktır.

3. ÇALIŞMA KAPSAMINDAKİ TEMEL KAVRAMLAR

Bu çalışma kapsamında aksiyomatik tasarım ve yalın üretim yöntemleri kavramları ele alınmıştır.

3.1. Aksiyomatik Tasarım

Aksiyomatik tasarım, mühendislik disiplininde bir tasarım yöntemidir. Bu yöntem, tasarım sürecini matematiksel ve sistematik bir şekilde ele alarak tasarımın kalitesini ve etkinliğini artırmayı hedefler. Aksiyomatik tasarımın temel amacı, tasarım sürecindeki kararları daha doğru ve bilimsel bir temele dayandırmaktır. Aksiyomatik tasarım yöntemi, aşağıdaki adımlardan oluşur.

Problemin Tanımı: Tasarım sürecinin başlangıcında, tasarımın hedefleri, gereksinimleri ve kısıtları belirlenir. Bu adımda, tasarlanacak sistemin ne olduğu ve ne yapması gerektiği açık bir şekilde tanımlanır.

Fonksiyonel Gereksinimlerin Belirlenmesi: Tasarım sürecinde müşteri isteklerini karşılamak için gerekli olan fonksiyonel gereksinimler (FR'ler) belirlenir. FR'ler, tasarımın temel amaçlarını ve müşteri beklentilerini yansıtır.

Bilgi Alanının Oluşturulması: Tasarım sürecinde kullanılacak olan bilgi alanı oluşturulur. Bu adımda, tasarım parametreleri (DP'ler) ve süreç değişkenleri (PV'ler) tanımlanır. DP'ler, fiziksel bilgi alanında belirlenen tasarım değişkenleridir, PV'ler ise süreç bilgi alanında belirlenen verilerdir.

Haritalandırma: FR'ler ile DP'ler arasındaki ilişkilerin haritalandırılması yapılır. Bu adımda, müşteri bilgi alanı ile fonksiyonel bilgi alanı arasında kavram tasarımı gerçekleştirilir. Fonksiyonel bilgi alanı ile fiziksel bilgi alanı arasında ise ürün tasarımı yapılır.

Tasarım Hiyerarşisi: Tasarım süreci boyunca üst seviyeden alt seviyelere doğru daha ayrıntılı tasarım adımları gerçekleştirilir. Bu adımlarda, tasarımın daha detaylı ve spesifik aşamaları ele alınır.

Tasarım Optimizasyonu: Tasarım sürecinde optimizasyon teknikleri kullanılarak tasarımın kalitesi ve etkinliği artırılır. Bu adımda, tasarımın performansı, maliyeti, güvenilirliği ve diğer kriterler dikkate alınarak iyileştirmeler yapılır.

Aksiyomatik tasarım yöntemi, sistemli ve bilimsel bir yaklaşım sunarak tasarım sürecinin daha kontrollü ve verimli bir şekilde ilerlemesini sağlar. Bu yöntem, tasarımcıya matematiksel ve mantıksal bir temel sunarak karar verme sürecinde objektif bir yaklaşım benimsemesini sağlar. Aksiyomatik tasarımın temel amacı, bir sistem veya modelin belirli bir hedefi veya amacı gerçekleştirmesini sağlamaktır. Bu hedef genellikle belirli kısıtlamalar veya performans ölçütleriyle belirlenir. Aksiyomatik tasarım yaklaşımı, sistemin veya modelin geliştirilmesi ve optimize edilmesi için matematiksel modeller ve metotlar kullanır. Tasarım ve Tasarımcı: Farklı disiplinlerdeki tasarımlar farklı şekillerde tanımlanabilir ve çeşitli alanlara odaklanabilir. Örneğin, makine mühendisleri ürün tasarımıyla ilgilenirken, işletme yöneticileri örgüt tasarımıyla ilgilenir ve tasarım terimi genellikle bu bağlamlarda kullanılır. Her bir faaliyetin kendine özgü hedefleri ve gereksinimleri olsa da, hepsi tasarım faaliyetlerine örnektir. Farklı alanlar farklı verilere dayanabilir ve farklı tasarım uygulamaları yapabilir, ancak birçok tasarım özelliği ortaktır. Tasarım faaliyetlerinde, tasarımcının yapması gereken ortak noktalar şunlardır(Suh, 2001);

- Müşteri ihtiyaçlarını bilmek ve anlamak: Müşterinin isteklerini ve gereksinimlerini anlamak, tasarım sürecinin temel adımlarından biridir. Müşterinin ihtiyaçlarını doğru şekilde belirlemek, tasarımın başarısını ve müşteri memnuniyetini etkiler.
- Sentez yolu ile çözümü kavramsallaştırmak: Müşteri ihtiyaçlarına dayanarak farklı çözüm seçeneklerini oluşturmak ve bu seçenekleri kavramsallaştırmak, tasarım sürecinin önemli bir aşamasıdır. Bu aşamada yaratıcı düşünme ve problem çözme becerileri kullanılır.
- Önerilen çözümü optimize etmek için analiz yapmak: Tasarımın farklı yönlerini analiz etmek ve optimize etmek, tasarımın etkinliğini artırmak için gereklidir. Analiz, performans, maliyet, üretilmesi ve diğer önemli faktörleri değerlendirmeyi içerir.
- Müşteri ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamadığını görmek için tasarım çözümlerinin sonuçlarını karşılaştırmak: Tasarım çözümlerini müşteri ihtiyaçlarına göre değerlendirmek ve karşılaştırmak, doğru çözümü seçmek için önemlidir. Bu, testler, prototipler veya diğer değerlendirme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Bu adımlar, tasarımcının tasarım sürecindeki sorumlulukları ve görevleri yansıtan temel aşamalardır. Müşteri odaklılık, yaratıcılık, analitik düşünme ve değerlendirme becerileri, başarılı bir tasarımın temel unsurlarıdır. Tasarım süreci boyunca, müşteri isteklerinin belirlenmesi ve tasarım parametrelerinin şekillendirilmesi, hedefe ulaşmak için önemli adımlardır(Çebi ve Kahraman, 2011).

Aksiyomatik Tasarım Yapısı: Aksiyomatik tasarımın temel yaklaşımını oluşturan bilgi alanı kavramı, tasarım sürecindeki temel bilgilerin ve değişkenlerin tanımlandığı alandır. Bu alan, sistemin veya modelin tasarımında kullanılacak verilerin ve bilgilerin doğru şekilde belirlenmesini sağlar. Bilgi alanı, tasarım sürecinin başlangıcında belirlenen gereksinimler ve hedefler doğrultusunda oluşturulur. Bilgi alanı oluşturulurken kullanılan tanımlar, sistemin veya modelin özelliklerini, bileşenlerini ve ilişkilerini açıklayan ifadelerdir. Bu tanımlar, tasarım sürecinde kullanılacak terimlerin anlaşılır ve tutarlı bir şekilde belirlenmesini sağlar. Tanımlar, aksiyomatik tasarımın matematiksel temeli olan aksiyomların ve kısıtlamaların anlaşılmasına yardımcı olur. Fonksiyonel gereksinimlerin belirlenmesi ise tasarım sürecinde sistemin veya modelin hangi işlevleri gerçekleştirmesi gerektiğinin tanımlanmasıdır. Bu gereksinimler, sistemin veya modelin performans ölçütlerini veya hedeflerini belirler. Fonksiyonel gereksinimler, tasarım sürecindeki aksiyomların ve bileşenlerin doğru şekilde tanımlanması ve kullanılması için önemlidir. Haritalandırma kavramı ise bilgi alanı, tanımlar ve fonksiyonel gereksinimlerin aksiyomlara dönüştürülmesi sürecini ifade eder. Bu süreçte, belirlenen bilgiler ve gereksinimler matematiksel ifadelere dönüştürülerek tasarımın matematiksel temelini oluşturur. Haritalandırma, sistemin veya modelin matematiksel olarak analiz edilebilmesi ve optimize edilebilmesi için gereklidir. Bağımsızlık ve Bilgi Aksiyomu ise aksiyomatik tasarımın en temel prensiplerinden biridir. Bu aksiyom, sistemin veya modelin bilgi alanının ve tanımlarının, tasarım sürecindeki aksiyomlardan ve diğer bileşenlerden bağımsız olarak belirlenmesini ifade eder. Bu aksiyom sayesinde, tasarım sürecindeki bilgilerin ve tanımların doğru ve tutarlı bir şekilde belirlenmesi sağlanır. Bağımsızlık ve Bilgi Aksiyomu, aksiyomatik tasarımın matematiksel temelini oluşturan temel prensiplerden biridir. Aşağıda verilen tanımlar Aksiyomatik Tasarım kavramının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilir:

Aksiyom: İspatı veya istisnası olmayan, açık ve asıl gerçekleri ifade eden temel önermelerdir. Aksiyomlar, kanunlardan veya doğanın ilkelerinden türetilmezler. Bir aksiyom kabul edilir ve tasarım sürecinin temelini oluşturan bağımsız gerçekler olarak kabul edilir.

Kuram: İspatlanmamış ancak kabul edilen aksiyomlarla kanıtlanabilen ve böylece bir kural veya özellik olarak belirlenen öneridir. Kuramlar, aksiyomlar üzerine inşa edilir ve tasarım sürecinde kullanılır. Kuramlar, tasarımın temelini oluşturan bağımlı gerçekleri ifade eder.

Fonksiyonel Gereksinimler (FR): Müşteri isteklerine karşılık gelen, bağımsız ihtiyaçların en küçük kümesidir. Fonksiyonel gereksinimler, tasarımın fonksiyonel bilgi alanında belirlenen müşteri gereksinimlerini ifade eder. Bu gereksinimler, tasarımın temel işlevlerini ve performansını tanımlar.

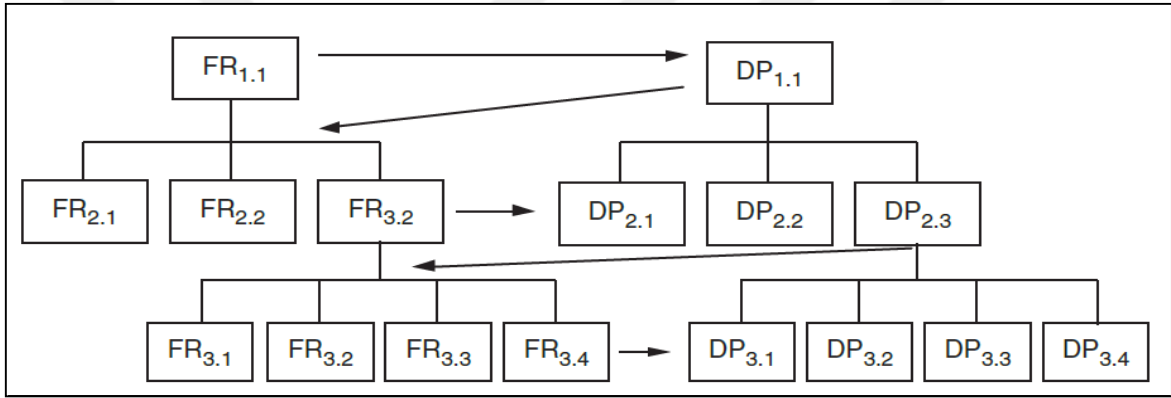
Tasarım Parametreleri (DP): Fonksiyonel gereksinimleri karşılayan, tasarımı tanımlayan fiziksel değişkenlerdir. Tasarım parametreleri, tasarımın fiziksel bilgi alanında belirlenen özelliklerini ifade eder. Bu parametreler, tasarım sürecindeki tasarım kararlarını etkiler.

Süreç Değişkenleri (PV): Tasarım parametrelerinin ortaya çıkardığı süreci tanımlayan verilerdir. Süreç değişkenleri, tasarım sürecinin süreç bilgi alanında belirlenen özelliklerini ifade eder. Bu değişkenler, tasarım sürecindeki süreç kararlarını etkiler.

Bu tanımlar, aksiyomatik tasarımın temel kavramlarını ve ilişkilerini açıklamaktadır. Tasarım sürecindeki temel gerçeklerin ve ilişkilerin anlaşılmasına ve tasarım kararlarının doğru bir şekilde belirlenmesine yardımcı olurlar(Suh, 2001).

Fonksiyonel Gereksinimlere Karşı Müşteri İhtiyaçları ve Haritalandırma: Aksiyomatik tasarım sürecinde, tasarım çözümü için karşılanması gereken ve birbirinden bağımsız olan fonksiyonel gereksinimlerin kümesi belirlenir. Bu gereksinimler, "neye ulaşmak istiyoruz?" sorusunu ortaya koyan fonksiyonel bilgi alanıyla ilişkilidir. Tasarım süreci ise "nasıl ulaşabiliriz?" sorusunu soran fiziksel bilgi alanıyla, tasarım parametrelerini içeren bir ilişki planlama sürecini içerir. Tasarım parametreleri ise süreç bilgi alanındaki süreç değişkenleriyle ilişkilendirilir. Bu geçişler "haritalandırma" olarak adlandırılır. Tasarım sürecinde üç farklı alanın birbirleriyle ilişkilendirildiği hiyerarşik bir yapı bulunur. Müşteri bilgi alanı ile fonksiyonel bilgi alanı arasındaki haritalandırma "Kavram Tasarımı" olarak adlandırılır. Fonksiyonel bilgi alanı ile fiziksel bilgi alanı arasındaki haritalandırma ise "Ürün Tasarımı" olarak adlandırılır. Fiziksel bilgi alanı ile süreç bilgi alanı arasındaki haritalandırma ise "Süreç Tasarımı" olarak adlandırılır. Bu şekilde tasarımın farklı alanlarında gerçekleştirilen haritalandırmalarla tasarım süreci yönetilir. Tasarım sürecinde ayrıca tasarım hiyerarşisi kavramı kullanılır. Bu hiyerarşi, üst seviyeden alt seviyelere doğru daha detaylı ayrıntılara ilerleme sürecini ifade eder. Tasarımın amacına bağlı olarak her bir

bilgi alanında bir hiyerarşi mevcuttur. Bu hiyerarşik indirgeme veya zikzak ayrıştırma olarak adlandırılır. Bu süreç tasarım nesnesinin anlaşılabilir ve uygulanabilir olması veya daha fazla indirgeme yapılamayacak bir seviyeye kadar devam eder. Tasarım nesnesinde kullanılacak malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi ayrıntılar belirlenene kadar bu süreç devam edebilir. Bu ayrıştırma sonucunda tasarım nesnesinin hiyerarşik yapısı ortaya çıkar ve tasarım süreci kontrol edilebilir hale gelir. Bu hiyerarşik yapının oluşturulmasının ardından tasarım elemanları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkaran bir tasarım matrisi oluşturulabilir. Bu şekilde aksiyomatik tasarım sürecinde, farklı bilgi alanları arasındaki ilişkileri belirleyen ve tasarımın kontrol edilebilir bir şekilde ilerlemesini sağlayan bir yaklaşım kullanılır.



Şekil 1. Tasarımın hiyerarşik olarak indirgenmesi (Yaşar vd. , 2005)

Fonksiyonel İhtiyaçlar: Fonksiyonel ihtiyaçlar, bir ürün veya sistemin müşteri isteklerini karşılamak için yerine getirmesi gereken temel gereksinimlerdir. Bu ihtiyaçlar, ürünün veya sistemin belirli bir fonksiyonu yerine getirmesini sağlayacak özellikleri içerir. Fonksiyonel ihtiyaçlar, müşteri gereksinimlerinin analiz edilmesi ve belirlenmesi sürecinde ortaya çıkar. Müşteri gereksinimleri, kullanıcının beklentilerini ve ihtiyaçlarını yansıtan genel ifadelerdir. Bu gereksinimler daha sonra fonksiyonel ihtiyaçlara dönüştürülür. Fonksiyonel ihtiyaçlar, ürünün veya sistemin işlevselliğini ve performansını tanımlar. Örneğin, bir otomobil için hızlanma, frenleme, direksiyon kontrolü gibi işlevsel gereksinimler belirlenebilir. Bir yazılım sistemi için ise veri tabanı yönetimi, kullanıcı arabirimi, hata yönetimi gibi işlevsel gereksinimler önemlidir. Fonksiyonel ihtiyaçlar, tasarım sürecinde temel bir rehber olarak kullanılır. Bu ihtiyaçlar, ürün veya sistemin tasarımında hangi özelliklerin yer alması gerektiğini belirlemek için kullanılır. Ayrıca, fonksiyonel ihtiyaçlar, tasarımın doğruluğunu ve tamamlanmasını değerlendirmek için kullanılan ölçütlerdir. Fonksiyonel ihtiyaçlar,

tasarımın başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için dikkate alınması gereken önemli unsurlardır. Bu ihtiyaçlar, müşteri memnuniyetini sağlamak, ürünün veya sistemin beklentileri karşılamak ve kullanılabilirliğini artırmak amacıyla belirlenir(Noel, 2001).

Aksiyomlar: AT yaklaşımına göre tasarımlar iki aksiyom tarafından yönlendirilir. İlk aksiyom olan “Bağımsızlık Aksiyomu” fonksiyonel ve fiziksel değişkenler arasındaki ilişki ile ilgilenir. İkinci aksiyom olan “Bilgi Aksiyomu” ise tasarımın karmaşıklığı ile ilgilenir.

Bağımsızlık Aksiyomu: Eşitlik 3.1’de tanımlanan matematiksel ifade, fonksiyonel ihtiyaçlar (FR) ve tasarım parametreleri (DP) arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Bu ilişki, tasarım sürecinde fonksiyonel ihtiyaçların tasarım parametreleri üzerinde etkisini gösterir. Bu eşitlikte, sağ tarafta yer alan F fonksiyonu, tasarım parametrelerinden fonksiyonel ihtiyaçlara olan ilişkiyi temsil eder. Tasarım parametreleri (DP) üzerindeki değişiklikler, fonksiyonel ihtiyaçlara (FR) yansır. Bu şekilde, tasarım süreci boyunca fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri arasında bir bağlantı kurulur. Bu matematiksel ifade, tasarım sürecinin analitik bir şekilde değerlendirilmesini ve optimize edilmesini sağlar. Tasarım parametrelerinin değerleri ve aralarındaki ilişkiler, fonksiyonel ihtiyaçların nasıl karşılanacağını belirler. Bu sayede, tasarım süreci daha sistematik ve kontrollü bir şekilde ilerler. Bu matematiksel ifade, tasarımın anlaşılmasını kolaylaştırır ve tasarımın gerçekleştirilmesinde bir rehber görevi görür. Tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve optimize edilmesi, fonksiyonel ihtiyaçları karşılayacak en iyi tasarım çözümünün elde edilmesini sağlar. Bu ifade, aksiyomatik tasarımın temel yaklaşımını yansıtır ve tasarım sürecinin matematiksel olarak ifade edilmesine olanak tanır. (Suh, 2001: 16).

$$[FR] = [A][DP] \quad (3.1)$$

Burada;

[FR] :Fonksiyonel gereksinimler vektörü,

[DP]: Tasarım parametreleri vektörü

[A] : Tasarım matrisidir.

Tasarım matrisi elemanları Eşitlik 3.2’de görülmektedir.

$$A_{ij} = \frac{\partial DP_j}{\partial FR_i}, \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \quad (3.2)$$

Matrisin her A_{ij} elemanı, FR vektörünün bir bileşenini DP vektörünün bir bileşeni ile ilişkilendirir. Tasarım matrisi $[A]$, Eşitlik 3.3 şeklinde ifade edilir.

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{1n} \\ A_{21} & A_{12} & A_{12} \\ A_{m1} & A_{m2} & A_{m2} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Tasarımın bağımsızlık aksiyomu açısından çeşitlenmesi, $[A]$ matrisinin yapısına bağlıdır. Üç farklı çeşit tasarım vardır: bağlı tasarım, ayrılmış tasarım ve ayrık tasarım.

Ayrık tasarım, $[A]$ matrisinin sadece ana köşegeninde elemanları bulunan bir tasarım şeklindedir. Bu tasarım türü, bağımsızlık aksiyomu açısından ideal kabul edilir, ancak gerçek hayatta elde etmek zor olabilir. Her tasarım probleminde ayrık tasarım mümkündür, ancak ortam koşulları veya kısıtlamalar nedeniyle bu tür tasarımların gerçekleştirilmesi mümkün olmayabilir.

Ayrılmış tasarım ise, $[A]$ matrisindeki elemanların köşegen dışında bulunduğu bir tasarım şeklindedir. Bu tasarımda, bir fiziksel uygulama bir önceki alandaki uygulamaları etkilemez, ancak daha sonraki alanlarda etkili olabilir. Bu tasarım, biraz daha bağımlılık içerir, ancak karmaşıklık düzeyi aşağıdadır.

Bağlı tasarım ise, $[A]$ matrisinde köşegen dışında birçok elemana sahip olan bir tasarım türüdür. Bu elemanlar köşegenin hem üstünde hem de altında yer alabilir. Bağlı tasarım, her bir tasarım aşamasında fiziksel uygulamaların önceki aşamalardaki uygulamaları etkilediği bir yapıya sahiptir. Bu durum karmaşık bir yapı oluşturur ve tekrarlı işlere, maliyet ve zaman kayıplarına neden olabilir. Bağlı tasarım, bağımsızlık aksiyomuna göre kabul edilemez ve tasarım sürecinin tekrar ele alınması gerektiğini gösterir.

Bağımsızlık aksiyomuna göre, tasarım süreci bağımsızlık prensibine dayanmalıdır. Tasarım parametreleri arasında mümkün olduğunca bağımsızlık sağlanmalıdır, böylece karmaşıklık azalır, tekrarlı işler ve hatalar önlenir. Tasarım sürecinin başarılı olması için bağımsızlık aksiyomuna uygun bir tasarım yaklaşımı benimsenmelidir (Haik-Wasiloff, 2004: 655).

Bilgi Aksiyomu: Bilgi aksiyomu, aksiyomatik tasarımın temel ilkelerinden biridir. Bu aksiyom, tasarım sürecinde kullanılacak bilginin belirlenmesi ve yönetilmesiyle ilgilidir. Bilgi aksiyomu, tasarım sürecindeki bilginin doğruluğu, eksiksizliği ve erişilebilirliği gibi özelliklerini vurgular. Bilgi aksiyomu, tasarım sürecinde kullanılan bilginin güvenilir ve

doğru olması gerektiğini ifade eder. Tasarım kararları ve çözümleri, geçerli ve doğru bilgilere dayandırılmalıdır. Bu nedenle, bilginin kaynağı güvenilir olmalı ve bilgi sağlayıcılarından doğruluk kontrolü yapılmalıdır. Bilgi aksiyomu, tasarım sürecindeki bilgi yönetiminin önemini vurgulayan ve tasarımın temelinde yer alan bir prensiptir. Doğru, eksiksiz ve erişilebilir bilginin kullanılması, başarılı bir tasarımın anahtarıdır.

3.2. Yalın Üretim

Yalın üretim, Japon otomotiv şirketi Toyota tarafından geliştirilen ve yaygın olarak uygulanan bir üretim felsefesidir. Yalın üretim, atıl kaynakları en aza indirerek, müşteri taleplerine hızlı yanıt verme, kaliteyi artırma ve maliyetleri düşürme amacını taşır. Yalın üretim, aşağıdaki temel prensiplere dayanır:

Değer odaklılık: Müşterinin ürüne değer kattığı süreçlere odaklanır. Diğer tüm faaliyetler, müşteriye değer sağlamayan atıl işlemler olarak kabul edilir ve en aza indirgenir.

Değer akışı analizi: Üretim sürecindeki tüm adımların bir değer akışı haritası şeklinde analiz edilmesini sağlar. Bu analizde, değer katmayan adımlar belirlenir ve ortadan kaldırılmaya çalışılır.

Akış: Üretim sürecinde malzemenin akışını ve bilginin doğru zamanda doğru yerde olmasını sağlar. İş istasyonları arasındaki hareketlerin en aza indirilmesi ve süreçlerin sürekli akış halinde olması hedeflenir.

Çekme sistemi: Müşteri taleplerine göre üretim yapılmasını sağlar. Malzeme ve bilgi, talep edildiği anda ve miktarında tedarik edilir. Stok miktarları minimize edilerek, iş istasyonları arasındaki senkronizasyon sağlanır.

Sürekli iyileştirme: Yalın üretimde, sürekli iyileştirme felsefesi benimsenir. İşçilerin katılımıyla sürekli olarak iş süreçlerinin geliştirilmesi ve verimlilik artışı hedeflenir.

Yalın üretim, sadece otomotiv sektöründe değil, diğer endüstrilerde de yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu felsefe, iş süreçlerinin verimliliğini artırarak müşteri memnuniyetini ve rekabet avantajını sağlamaya yöneliktir(Mishra vd., 2011).

Yalın Üretim Tarihçesi: Yalın üretim, ilk olarak Japonya'da Toyota Motor Corporation tarafından geliştirilen ve uygulanan bir üretim felsefesidir. Bu felsefe, Toyota'nın 20. yüzyılın başlarında Japonya'da faaliyet gösterirken karşılaştığı üretim zorluklarından doğmuştur. Yalın üretimin tarihçesi, 1940'lı yıllarda Toyota'nın kurucusu Sakichi Toyoda ve

oğlu Kiichiro Toyoda'nın öncülüğünde başlar. Sakichi Toyoda, otomatik dokuma tezgâhlarının geliştirilmesiyle ün kazanmış bir mucitti. Bu süreçte, verimlilik ve kaliteyi artırmak için sürekli iyileştirme çalışmaları yaptı. İkinci Dünya Savaşı sonrasında, Toyota ve diğer Japon şirketleri malzeme ve kaynak eksikliğiyle karşı karşıya kaldı. Bu kısıtlı kaynaklar altında, Toyota'nın başmühendisi Taiichi Ohno ve onun öğrencisi Shigeo Shingo, üretim süreçlerini verimli hale getirecek yeni bir yaklaşım geliştirmeye başladılar. Ohno ve Shingo'nun çalışmaları, üretim süreçlerinde israfı ve aksaklıkları ortadan kaldırmayı hedefleyen bir sistem olarak yalın üretimin temellerini attı. Bu yeni yaklaşım, "Toyota Üretim Sistemi" olarak da bilinir. 1950'lerden itibaren Toyota, yalın üretim felsefesini uygulamaya başladı ve başarılı sonuçlar elde etti. Toyota, üretim süreçlerinde atıkları, fazlalıkları ve iş gücü hareketlerini azaltarak daha etkin ve verimli bir üretim yapısı oluşturdu. 1960'lı yıllarda, Toyota'nın başarısı Japonya genelinde yayıldı ve diğer Japon şirketleri de yalın üretimi benimsedi. 1980'lerde ise yalın üretim kavramı, Batı ülkelerinde de dikkat çekmeye başladı. Yabancı şirketler, Toyota'nın başarısını takip etmek ve rekabet güçlerini artırmak için yalın üretim prensiplerini uygulamaya başladılar (Sevindirici, 2009). Yalın üretim, 1990'lı yıllarda kitaplar, makaleler ve eğitim programları aracılığıyla daha da yaygınlaştı. Bu dönemde, yalın üretim felsefesini anlatan önemli kitaplar, James P. Womack, Daniel T. Jones ve Daniel Roos tarafından yazılan "The Machine That Changed the World" (1990) ve "Lean Thinking" (1996) oldu. Bugün yalın üretim, birçok sektörde uygulanmaktadır ve işletmelerin verimlilik, kalite, müşteri memnuniyeti ve rekabet gücü gibi alanlarda önemli kazanımlar elde etmelerine yardımcı olmaktadır. Yalın üretimin prensipleri, sürekli iyileştirme, atık azaltma, esneklik, sürdürülebilirlik ve çalışan katılımı gibi unsurları içerir (Katayama, 1998).

Yalın Üretim Teknikleri

Değer akış haritalama: Toyota Üretim Sistemi'nden geliştirilmiş bir yöntem olup, yalın sistemlerin kurulması için kullanılan bir araçtır. Enerji sektöründe de değer akışı haritalama metodu, malzeme ve bilgi akış süreçlerini göstermek ve mevcut durumu analiz etmek amacıyla kullanılabilir. Değer akışı haritalama, malzeme ve bilgi akışlarını görsel olarak özetleyerek iş süreçlerini anlama ve iyileştirme imkânı sunar. Bu yöntem, değeri artıran faaliyetleri ve israf kaynaklarını belirlemek için kullanılır. Değer akışı haritası, operasyonel konuları daha anlaşılır hale getirir ve yöneticilerin büyük resmi görmesini sağlar. Değer akışı haritalama, değer katmayan aktiviteleri ve değer katan faaliyetleri belirlemek için Ohno'nun 7 temel israfını kullanır. Bu sayede mevcut durumda israf olarak değerlendirilen eylemler

ve zamanlar tespit edilerek iyileştirme fırsatları ortaya çıkar. Ayrıca değer akışı haritalama, eğitim aracı, iş planlama aracı ve değişim sürecini yönetme aracı olarak da kullanılabilir. Değer akışı haritalama süreci, bir ürün ailesinin seçimiyle başlar. Ardından mevcut durum haritası çizilerek mevcut süreçlerin analizi yapılır. Bu analiz sonucunda gelecek durum haritası tasarlanır ve geliştirme fırsatları belirlenir. Son adımda ise bir uygulama planı hazırlanır ve iyileştirmeler uygulamaya konulur. Enerji sektöründe değer akışı haritalama, süreçlerin analiz edilmesini, verimliliğin artırılmasını, israfın azaltılmasını ve kalitenin iyileştirilmesini sağlayarak daha etkin bir üretim ve dağıtım süreci oluşturulmasına yardımcı olur. Bu yöntem, enerji sektöründeki iş süreçlerini optimize etmek ve daha sürdürülebilir bir enerji üretimi sağlamak için değerli bir araçtır(Rother ve Shook, 1999).

Verinin Toplanması ve Ürün Ailesi Seçimi: Ürün ailesi, benzer süreçlerden geçen ve ortak ekipmanların kullanıldığı bir ürün grubunu ifade eder. Ürün ailesi seçilirken, özellikle son aşamalardaki süreçlerde ortak ekipmanların kullanıldığı ürünler dikkate alınmalıdır. Bu seçim, montaj hattına odaklanarak yapılabilir. Montaj hattında ortak montaj adımlarını içeren ve aynı ekipmanların kullanıldığı ürünler tespit edilerek bir ürün ailesi oluşturulabilir. Önemli bir nokta, ürün ailesinin seçiminde zaman faktörünün dikkate alınmasıdır. Seçilen ürün ailesi için son aşamalarda kullanılan ortak ekipmanlar ve süreçler belirlenirken, bu aşamaya çok fazla zaman harcamamak önemlidir. İdeal olarak, bu aşamaya iki günden fazla bir süre ayrılmamalıdır. Bu şekilde, süreç analizine odaklanırken zaman verimliliği de gözetilmiş olur. Bu yaklaşım, değer akışı haritalamasının bir adımıdır ve ürün ailesinin belirlenmesinde önemli bir kriter olarak kullanılır. Ortak süreçler ve ekipmanlar üzerine odaklanarak, süreçlerin standardizasyonu, verimlilik artışı ve iyileştirme fırsatları elde etmek için daha etkin bir yaklaşım benimsenir(Rother ve Shook, 1999: 6).

Mevcut Durum Haritası: Mevcut durum haritası (Current State Map), bir işletmedeki mevcut süreçlerin ve akışın görsel bir temsilidir. Bu harita, değer akışı haritalamasının bir parçası olarak kullanılır ve mevcut durumu analiz etmek, sorunları belirlemek ve iyileştirme fırsatları tanımlamak için kullanılır. Mevcut durum haritası, işletmenin belirli bir sürecini veya değer akışını adım adım gösterir. Her adım veya işlem, semboller veya simgeler kullanılarak temsil edilir ve bunlar arasındaki bağlantılar açık bir şekilde gösterilir. Harita, malzeme ve bilgi akışını, süreleri, envanteri ve diğer önemli bilgileri içerebilir. Değer akış haritaları her işletmeye göre farklılıklar gösterebilir. Fakat temel olarak uygulanması gereken adımları 8 aşamada sıralamak mümkündür (Tapping ve Shuker, 2003: 57):

- Tedarikçi ve müşteri bilgilerinden elde edilen gerekli bilgiler hazırlanmalıdır

- İlk olarak giriş ve son süreçler çizilmelidir.
- Arada kalan süreçler çizilmelidir.
- Bütün katkı sağlayan süreçler listelenmelidir.
- Bütün süreçlerdeki süreler belirlenmelidir.
- Değer akışındaki bilgi akışı ve iletişim çizgileri çizilmelidir.
- İtme ya da çekme akışları tanımlanmalı ve çizilmelidir.
- Haritada eksik kalan veriler tamamlanmalıdır.

DAH, iyileştirme çalışmalarının temelidir ve iyileştirmenin müşterinin istediği hizmetle uyuşması için en önemli nokta müşteri tarafından algılanan değer faaliyetlerinin açık şekilde belirlenmesidir. Dolayısıyla iyileştirmeler, müşterinin istekleriyle başlamalıdır (Rother ve Shook, 1999). Haritaya sağ üst köşeye ‘müşteri’ çizilerek başlanır ve dış kaynak sembolü ile gösterilir. İkinci adım olarak üretim süreçleri çizilir ve üretim süreci sembolü ile gösterilir. Süreç sembolleri, içinden malzeme geçen kutulardır dolayısıyla üretim süreçleri malzeme akışının durduğu yer olarak tanımlanabilir. Süreç kutularını ayırırken dikkat edilmesi gereken temel nokta malzemenin hareketidir, eğer malzeme bir sonraki istasyona taşınıyorsa veya stok oluşturuyorsa daha sonraki işlem ayrı bir süreç kutusunda gösterilmelidir. Bir süreç kutusu birden çok iş istasyonundan oluşabilir ve tek bir süreç sembolüyle gösterilir, fakat iş istasyonlarının arasında ürünün hareketi söz konusuysa bu ikinci bir süreç sembolüyle gösterilmelidir. Aynı şekilde eğer farklı iş istasyonları bir transfer hattıyla birbirine bağlı ise bu tek bir süreç sembolüyle gösterilebilir, istenilirse daha sonra süreç haritası ayrıntılı olarak çizilir. Her sürecin altında bilgi kutuları bulunur ve Tablo 1’de verilen üretim ile ilgili bilgiler bu kutulara girilir. Bir sonraki aşamada stok bilgileri, bilgi akışları çizilir. Son aşama olarak işletmeye özgü eklenmek istenen bilgiler eklenerek eksik bilgiler tamamlanır ve zaman eksenini çizilerek üretim akış süresi ve işlem süresi hesaplanır (Rother ve Shook, 1999).

Değer akış haritasının mükemmel olması beklenmez çünkü bu harita bir çözüm değil rehber olarak kullanılmaktadır. Örneğin, tam olarak kaç tane stok olduğunu saymakla zaman kaybetmek yerine ne kadar zamanlık stok olduğunu yazmak yeterli olacaktır. Fakat bunu yaparken her zaman ‘neden’ sorusu sorulmalıdır. Gelecek durum iyileştirmelerinde, sorunların nedenleri analiz edilerek iyileştirmeler yapılabilecektir (Black ve Philips, 2014: 267).

Tablo 1. DAH Veri kutusu bilgileri

VERİ BİLGİ SEMBOLÜ	AÇIKLAMA
C/T (Çevrim Süresi)	Bir Bitmiş Parça Arasındaki Süre
C/O (Model Değiştirme Süresi)	İki farklı modele ait başarılı parça arasında geçen süre
Uptime (Makine Kullanım Oranı)	Makine Kullanım Oranı
EPE (Üretim Parti Büyüklüğü)	Örneğin; üç günde bir parça değişiyorsa üretim parti büyüklüğü ‘üç günlük parça’dır.
Operatör Sayısı	Bir Süreç İçin Gerekli Operatör Sayısı
Ürün Çeşitliliği Sayısı	İlgili Süreçte Üretilen Ürün Çeşidi Sayısı
Hurda Oranı	Bir Partiden Çıkan Hurda Sayısının Kabul Edilebilir Ürün Sayısı Oranı

Gelecek Durum Haritası: Gelecek durum haritası, bir işletmenin hedeflediği veya istediği süreç ve akışın görsel bir temsidir. Bu harita, değer akışı haritalamasının bir parçası olarak kullanılır ve mevcut durumu iyileştirme hedefleri doğrultusunda tasarlamak için kullanılır. Gelecek durum haritası, mevcut durum haritasına dayanarak oluşturulur. Mevcut durumu analiz ettikten ve sorunları belirledikten sonra, işletme sürecini nasıl iyileştireceğimize dair bir plan yapmak için gelecek durumu tasarlarız. Bu tasarım, işletmenin hedeflediği daha verimli, hızlı ve değer yaratan bir süreci temsil eder. Gelecek durum haritası oluştururken aşağıdaki adımlar genellikle izlenir:

Hedefleri belirleme: İşletmenin hedeflediği iyileştirme alanlarını ve sonuçları tanımlayın. Bu, süreç sürelerinin azaltılması, envanter miktarının azaltılması veya verimliliğin artırılması gibi hedefleri içerebilir.

İyileştirme adımlarını belirleme: Gelecek durumu oluşturmak için yapılması gereken adımları belirleyin. Bu, süreçteki israfı ortadan kaldırmak, malzeme akışını düzenlemek veya süreçteki bekleme sürelerini azaltmak gibi iyileştirme adımlarını içerebilir.

Yeni akışı gösterme: Mevcut durumdaki adımları ve akışı iyileştirme adımlarıyla değiştirin. Gelecek durumda, daha verimli, hızlı ve değer yaratan bir akışı göstermek için işlemleri yeniden düzenleyin ve optimize edin.

Süreleri ve envanteri belirleme: Her adımın iyileştirilmiş sürelerini ve envanter miktarını belirleyin. Bu, bekleme sürelerinin azaltılması, işlem sürelerinin optimize edilmesi ve envanter miktarının en aza indirgenmesi gibi iyileştirmeleri içerebilir.

Performans göstergelerini tanımlama: Gelecek durumu başarıyla ölçmek için performans göstergelerini belirleyin. Bu, süreç süreleri, envanter düzeyi, hatalı ürün sayısı veya müşteri memnuniyeti gibi ölçütleri içerebilir.

Gelecek durum haritası, işletmenin hedeflediği daha iyi bir süreç ve akışı görselleştirir. Bu harita, işletmenin hedeflerine ulaşmak için atılması gereken adımları ve iyileştirme fırsatlarını açık bir şekilde gösterir. Ayrıca, işletmenin yolculuğunu takip etmek ve ilerlemeyi izlemek için bir referans noktası sağlar(Akgül, 2017).

Kaizen: Kaizen, Japonca kökenli bir kelime olup "iyileştirme" veya "sürekli geliştirme" anlamına gelir. İşletmelerdeki sürekli gelişmeyi teşvik eden ve küçük adımlarla sürekli olarak iyileştirmeler yapmayı hedefleyen bir felsefe ve yönetim yaklaşımıdır. Kaizen, her seviyedeki çalışanların katılımını teşvik eder ve herkesin iş süreçlerindeki sorunları ve fırsatları belirlemesini, analiz etmesini ve çözüm önerileri sunmasını sağlar. Bu yaklaşım, sürekli olarak küçük adımlarla iyileştirmeler yaparak büyük sonuçlar elde etmeyi hedefler. Kaizen'in temel prensipleri şunlardır:

Küçük adımlarla ilerleme: Kaizen, büyük ve karmaşık problemleri ele almak yerine küçük, daha yönetilebilir adımlarla ilerlemeyi teşvik eder. Her gün küçük bir iyileştirme yaparak, zamanla büyük değişimler elde edilebilir.

Toplam katılım: Kaizen, sadece yöneticilerin veya uzmanların değil, tüm çalışanların katılımını teşvik eder. Herkesin süreçlerdeki sorunları tespit etmesi, öneriler sunması ve iyileştirme çalışmalarına aktif olarak katkıda bulunması beklenir.

Sürekli iyileştirme: Kaizen, bir kez yapılan iyileştirmelerle yetinmeyi değil, sürekli olarak iyileştirme yapmayı hedefler. İyileştirmelerin sürdürülebilir olması için sürekli izleme, değerlendirme ve geri bildirim mekanizmaları kullanılır.

Standartlaşma: İyileştirmelerin tekrarlanabilir ve sürekli uygulanabilmesi için standartlaşma önemlidir. İyileştirme süreçleri, iş akışları ve prosedürlerin belgelenmesi ve standartlaştırılması gereklidir.

İnsana odaklanma: Kaizen, insanların potansiyelini ve yaratıcılığını önemser. Çalışanların yeteneklerinin kullanılması, eğitim ve geliştirme fırsatları sağlanması, motivasyonun artırılması ve takım çalışması teşvik edilir.

Kaizen, sürekli iyileştirmelerin işletme genelinde yaygınlaştığı ve kültür haline geldiği bir yaklaşımdır. İşletmelerin verimliliği, kaliteyi, maliyetleri ve müşteri memnuniyetini artırmak için Kaizen prensiplerini uygulaması beklenir. Bu süreçte, sürekli olarak yeni fikirlerin test edilmesi, hatalardan öğrenme ve sürekli olarak daha iyiye doğru ilerleme önemlidir(Liker, 2005).

5S + 2S ve Görsel Yönetim: 5S, Japonca 'da "S" harfiyle başlayan 5 kelimeyi içerdiği için bu isim verilmiştir. İşletmelerde temizlik ve düzenin amaçlandığı 5S'in uygulama adımları şunlardır:

- Sınıflandırma (Seiri): Bu adımda, araç gereçler sınıflandırılır ve gerekli olanlar ile gereksiz olanlar ayrılır. Gereksiz araç gereçler ortadan kaldırılarak yer işgalini azaltmak ve hata olasılığını düşürmek amaçlanır.
- Düzenleme (Seiton): İlk adımda gereksizler ortadan kaldırıldıktan sonra, gerekli olan araç gereçler rahat ulaşılabilir ve kullanımı kolay bir şekilde yerleştirilir. Bu adımla birlikte düzen oluşturulur ve zaman kaybı önlenir.
- Temizlik (Seison): Bu adımda günlük temizlik rutini belirlenir ve kesintiye uğramadan yapılır. Temiz bir ortam, makinelerin sağlıklı çalışmasını sağlar, arızaların önüne geçer ve hataların daha kolay fark edilmesini sağlar.
- Standartlaştırma (Seiketsu): İlk üç adımda yapılanlar belli standartlara oturtulur. Yol ve yöntemler kayıt altına alınır ve sürekliliği sağlanır. Bu adımla birlikte işlerin sürdürülebilirliği amaçlanır.
- Disiplin (Shitsuke): Son adımda, temizlik ve düzenin sürdürülmesi için disiplin geliştirilir. Tüm çalışanlar bu faaliyetleri içselleştirerek aksatmadan yerine getirir. Yöneticiler de hatasız yapılması ve alışkanlık haline gelmesi için yeni yöntemler geliştirir.

5S, işletmelerin verimliliğini artırırken aynı zamanda çalışma ortamının daha güvenli ve düzenli olmasını sağlar (Hirano, 1990). +2S Kavramı İş Güvenliği ve Otonom Bakım faaliyetlerini kapsamaktadır.

Görsel yönetim, işyerinde bilgi ve verilerin görsel olarak paylaşılması ve iletilmesini sağlar. Bu, iş istasyonları veya süreçler için görsel panolar, iş talimatları, performans metrikleri, iş akışları, hedefler ve diğer bilgilerin kullanılmasını içerir. Görsel yönetim, çalışanların işleri daha iyi organize etmelerine, iş akışını izlemelerine, hedefleri takip etmelerine ve sorunları hızlı bir şekilde tespit etmelerine yardımcı olur. Aynı zamanda takım

alışmasını teşvik eder ve sürekli iyileştirme çabalarını destekler. Görsel yönetim, bilginin paylaşılmasını kolaylaştırarak iletişimi ve işbirliğini geliştirir. (Tapping, 2003).

Hücresele Üretim ve Tek Parça Akış: Hücresele üretim, üretim ekipmanı birlikte gruplandırıldığında ve benzer özelliklere sahip bir dizi parçanın sıralı üretimi için kullanıldığında gerçekleşir. Bu kavram, üretim sürecindeki atıkları ortadan kaldırma çabasının bir parçası olarak, yalın bir üretim operasyonunda kullanılır. Tek parçalı süreç akışı, bir ürünün veya hizmetin üretim sürecinin tek bir parça veya işlem üzerinden gerçekleştirildiği bir üretim yöntemidir. Bu yöntemde, üretim süreci adım adım ilerler ve her adımda sadece bir parça veya işlem gerçekleştirilir. Bu şekilde, işlerin daha hızlı ve verimli bir şekilde tamamlanması hedeflenir. Tek parçalı süreç akışı yönteminin avantajları şunlardır:

Daha hızlı üretim: Tek parçalı süreç akışında her adımda sadece bir parça veya işlem olduğu için işler daha hızlı ilerler. Bu, üretim süresini kısaltır ve ürünlerin daha hızlı bir şekilde tamamlanmasını sağlar.

Daha düşük stok maliyeti: Tek parçalı süreç akışında, işlerin tek bir parça veya işlem üzerinden ilerlediği için stok miktarı minimum seviyede tutulabilir. Bu da stok maliyetlerini düşürür.

Daha az hata ve kusur: Tek parçalı süreç akışı, her adımda sadece bir parça veya işlem yapıldığı için hataların ve kusurların tespiti daha kolaydır. Bu sayede kalite kontrolü daha etkin bir şekilde yapılabilir.

Daha iyi takip ve planlama: Tek parçalı süreç akışında her adım belirli bir sırayla gerçekleştirildiği için takip ve planlama daha kolaydır. Üretim sürecinin her aşaması gözlemlenebilir ve iyileştirmeler yapılabilir.

Daha esnek üretim: Tek parçalı süreç akışı, daha esnek bir üretim ortamı sağlar. Her parça veya işlem bağımsız olarak gerçekleştirildiği için değişikliklere hızlı bir şekilde adapte olunabilir.

Tek parçalı süreç akışı yöntemi, özellikle hızlı ve değişken taleplerin olduğu üretim ortamlarında etkili bir şekilde kullanılabilir. Bu yöntem, üretim sürecinin daha verimli, hızlı ve hatasız olmasını sağlayarak işletmelere rekabet avantajı sunar (Utaş 2001'den aktaran Seçkin, 2007: 33).

Üretim Seviyelendirme ve Düzgünleştirme (Heijunka): Heijunka, üretim programının düzenlenmesi ve düzeltilmesi anlamına gelir. Bu yöntem, parti üretimini azaltarak müşteri taleplerini daha verimli bir şekilde karşılamayı mümkün kılar. Sonuç olarak, stok miktarları, yatırım maliyetleri, işgücü ve üretim süresi gibi değer akışı boyunca ortaya çıkan unsurların

hepsi en aza indirgenir. Heijunka, üretimin hem miktar hem de ürün çeşitliliği açısından düzleştirilmesini sağlar. Bu yöntem, müşteri siparişlerinin dalgalanmasına göre üretim yapmak yerine, belirli bir dönemde toplam talebe bakar ve her gün aynı miktar ve aynı ürün çeşitliliğiyle üretimi düzenler. Örneğin, gerçek bir tek parçalı akışta, A ve B ürünlerini müşteri siparişlerinin sırasına göre üretebilirsiniz (örneğin A, B, A, B, B, B, A, B). Ancak bu tür bir üretim sırasının bir sorunu vardır. Parçaları düzensiz bir şekilde üretmeniz gerekebilir. Örneğin, pazartesi günü siparişler Salı gününün iki katı olabilir. Bu durumda, pazartesi günü fazla mesai yaparak işçileri çalıştırmanız ve salı günü ise daha az üretim yapmanız gerekebilir. Heijunka, bu tür dengesizlikleri düzeltmek için gerçek müşteri talebine bakar, ürün çeşitliliği ve miktarını belirler ve günlük bir üretim programı oluşturur. Örneğin, her beş B ürününe karşılık beş A ürettiğinizi bilirsiniz. Bu durumda, ABABAB şeklinde düz bir üretim yapabilirsiniz. Buna "düzleştirilmiş üretim" denir, çünkü üretimi karıştırırken müşteri talebini öngörülebilir bir sıraya göre düzleştirirsiniz. Üretim programının düzensiz olması durumunda, müşteri satın almaları genellikle tahmin edilemezdir, satılmayan ürün riski vardır ve kaynak kullanımı dengesizdir. Ayrıca, tedarikçilerle olan ilişkilerde talep dengesizlikleri oluşabilir. Heijunka, üretim programını düzleştirerek müşterinin istediği ürünü istediği zaman üretme esnekliği sağlar, satılmayan ürün riskini azaltır, emeği ve makinaları dengeli bir şekilde kullanır ve tedarikçilerle talebi düzleştirir. Özetlemek gerekirse, Heijunka, yalın üretim sistemini uygularken ilk adım olarak üretimi düzleştirmektir. Eğer üretim düzeyleri yaklaşık bir ay boyunca sabit veya istikrarlı bir şekilde devam ediyorsa, çekme sistemi uygulamaya geçmek ve montaj hattını düzleştirmek mümkün olur. Ancak, üretim düzeyleri her gün değişkenlik gösteriyorsa, diğer sistemleri uygulamanın bir anlamı olmayabilir çünkü standartlaştırılmış bir çalışma ortamı yaratmak zor olabilir (Liker, 2005:164). Düzleştirilmiş/karma üretim programlamasının ön koşulu, hazırlık sürelerini kısaltmak ve küçük parti üretimini gerçekleştirmektir. Ayrıca, malzeme akışını düzgün hale getirmek için yerleşimi düzenlemek ve çok işlevli operatörler yerleştirmek gibi adımlar da atılmalıdır. Sistemin potansiyel aksamalarını ortadan kaldırmak için jidoka, görsel kontrol, poka-yoke, koruyucu bakım gibi fikirlerin de uygulanması gerekmektedir. Tüm bunların başarılı olabilmesi için üst yönetimin anlaması ve bu hedefe adanması da önemli bir önkoşuldur(Suzaki, 2005: 172).

SMED: SMED (Single Minute Exchange of Die - Kalıp Değişiminde Tek Dakikadan Az Süre) bir kalıp değiştirme yöntemidir ve yalın üretim felsefesinin bir parçasıdır. SMED'in amacı, üretim hatlarında kalıp değişim süresini en aza indirerek üretim sürekliliğini

sağlamaktır. Geleneksel olarak, kalıp değişikliği süreleri oldukça uzun olabilir ve bu süre zarfında üretim durmaktadır. Bu durum, üretimde kayba yol açar ve üretim hızını düşürür. SMED yöntemi, bu süreyi önemli ölçüde azaltarak üretim hattında minimum duraklama süresi ile kalıp değişimi yapmayı hedefler. SMED yöntemi, iç ve dış faaliyetler olmak üzere iki aşamadan oluşur. İç faaliyetler, makineyi durdurmadan önce ve sonra gerçekleştirilen işlemleri içerirken, dış faaliyetler makine durduktan sonra gerçekleştirilen işlemleri kapsar. SMED'in temel adımları şunlardır:

İç faaliyetlerin analizi: Kalıp değişimi sırasında makineyi durdurmadan gerçekleştirilebilecek iç faaliyetlerin belirlenmesi ve bu faaliyetlerin optimize edilmesi.

Dış faaliyetlerin analizi: Makine durduktan sonra gerçekleştirilen dış faaliyetlerin gözden geçirilmesi ve bu faaliyetlerin hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için iyileştirmeler yapılması.

İç faaliyetleri dışa kaydırma: Mümkün olan iç faaliyetleri makineyi durdurmadan önce veya sonra gerçekleştirilecek dış faaliyetlere dönüştürme.

Standartlaştırma: Yapılan iyileştirmelerin standartlaştırılması ve sürekli olarak uygulanması.

SMED yöntemi, işletmelerin kalıp değişim sürelerini önemli ölçüde azaltarak üretim sürekliliğini artırmasına ve verimliliği yükseltmesine olanak tanır. Bu da müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verebilme, stokları azaltma ve maliyetleri düşürme gibi avantajlar sağlar(Ünnü, 2003: 103).

Jidoka: Jidoka, otomatik hata tespiti ve durma prensibini ifade eder. Bu prensip, bir iş istasyonunda veya süreçte herhangi bir hata veya anormallik tespit edildiğinde, üretimi otomatik olarak durdurarak hata üzerinde çalışma imkânı verir. Bu sayede, hataların diğer iş istasyonlarına veya müşterilere yayılması engellenir. Jidoka, üretim sürecinde kalite sorunlarını erken tespit etmeyi ve iyileştirmeyi hedefler. Operatörler, Jidoka prensibiyle donatılmış iş istasyonlarında hataları tanımlar ve düzeltme sürecine dahil olurlar.

TPM: TPM (Total Productive Maintenance - Toplam Üretken Bakım), yalın üretim felsefesinin bir parçası olan ve makine ve ekipmanların sürekli olarak verimli ve sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlamayı hedefleyen bir yönetim yaklaşımıdır. TPM, operasyonel mükemmeliyeti artırmak için tüm organizasyonu kapsayan bir yaklaşımdır. TPM'nin temel amacı, makine ve ekipmanların en üst düzeyde performans, verimlilik ve kalite ile çalışmasını sağlamaktır. Bu, ekipmanların planlanmamış duruşlarını (arızalar, hatalar, bakım

süreleri vb.) en aza indirgemeyi, üretim kayıplarını azaltmayı ve bakım sürelerini optimize etmeyi içerir. TPM, aşağıdaki temel prensipler üzerine inşa edilir:

Toplam katılım: TPM, sadece bakım ekiplerinin sorumluluğunda değil, tüm çalışanların katılımını gerektirir. Bakımın ve ekipman performansının iyileştirilmesi, herkesin sorumluluğunda olan bir ekip çabasıdır.

Önleyici bakım: TPM, önceden planlanmış bakım faaliyetlerini teşvik eder. Makine ve ekipmanlarda olası arızaların önlenmesi için düzenli bakım rutinleri ve denetimleri yapılır.

Ekipman etkinliği: Ekipmanların maksimum verimlilikle çalışmasını sağlamak için, makine kullanılabilirliği, performansı ve kalitesi üzerinde sürekli olarak iyileştirmeler yapılır.

Eğitim ve yetkinlik geliştirme: TPM, çalışanların ekipmanı etkili bir şekilde kullanma, bakım yapma ve hataları hızlı bir şekilde tanıma yeteneklerini geliştirmeyi teşvik eder. Eğitim ve yetkinlik geliştirme önemli bir bileşenidir.

Veri analizi ve sürekli iyileştirme: TPM, verilerin toplanması ve analiz edilerek ekipman performansının izlenmesini sağlar. Bu veriler üzerinden sürekli iyileştirme çalışmaları yapılır ve işletme performansı artırılır.

TPM'nin uygulanması, işletmelerin ekipman kullanılabilirliğini artırmasına, arıza ve duruş sürelerini azaltmasına, bakım maliyetlerini düşürmesine ve genel olarak operasyonel verimliliği iyileştirmesine yardımcı olur. Aynı zamanda kalite, güvenlik ve müşteri memnuniyeti gibi alanlarda da olumlu etkiler sağlayabilir(Okur, 1997).

Kanban Çekme Sistemi: Kanban, Japonca kökenli bir kelime olup "görsel kart" veya "iş kartı" anlamına gelir. Kanban, üretim süreçlerinde ve malzeme yönetiminde kullanılan bir çekme sistemi olarak bilinir. Bu sistem, stok seviyelerini optimize etmek, aşırı stokları önlemek ve süreçlerin akışını iyileştirmek amacıyla kullanılır. Kanban çekme sistemi, üretim veya hizmet süreçlerinde iş akışının düzenlenmesini sağlar. Her bir iş istasyonu, işleri tamamladığında veya malzeme ihtiyaçları olduğunda bir kanban kartı kullanarak talepte bulunur. Kanban kartı, bir sonraki iş istasyonuna veya tedarikçiye gönderilir ve bu istasyon veya tedarikçi, kartı alarak talebi karşılar. Bu sayede, malzeme veya iş akışı talep doğrultusunda gerçekleşir. Kanban çekme sistemi genellikle bir tahta veya panoda görünür hale getirilir. İş istasyonlarının veya malzeme bölgelerinin üzerindeki kanban kartları görsel olarak yönetilir. İş istasyonları, kendilerine gönderilen kart sayısına göre çalışır ve sadece talep edilen sayıda işi veya malzemeyi üretir veya sağlar. Bu sayede, aşırı stoklar ve iş

istasyonlarında aşırı yüklenme engellenir. Kanban çekme sistemi, Toyota Üretim Sistemi'nde (TPS) önemli bir rol oynamış ve daha sonra yaygın olarak diğer endüstrilere ve işletmelere uygulanmıştır. Bu sistem, stokların azaltılmasını, müşteri taleplerine hızlı yanıt verilmesini ve iş süreçlerinin akışının iyileştirilmesini sağlayarak verimlilik, kalite ve maliyet performansını artırmayı hedefler(Cesur, 1997).

Hoshin Kanri: Hoshin Kanri (Hoshin Planning veya Policy Deployment olarak da bilinir), Japonca kökenli bir ifadedir ve stratejik planlamayı, hedef belirlemeyi ve bu hedeflere ulaşmak için tüm organizasyonun birlikte çalışmasını amaçlayan bir yönetim yaklaşımıdır. Hoshin Kanri, Japon otomotiv şirketi Toyota tarafından geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan bir planlama ve yönlendirme metodolojisidir. Hoshin Kanri'nin temel amacı, organizasyonun üst düzey hedeflerini belirlemek ve bu hedeflere ulaşmak için tüm çalışanların katılımını sağlamaktır. Bu yaklaşım, stratejik hedeflerin belirlenmesini, bu hedeflerin bütün organizasyona iletilmesini, hedeflere ulaşmak için gerekli aksiyonların planlanmasını ve izlenmesini içerir. Hoshin Kanri 'nin ana adımları şunlardır:

Stratejik hedeflerin belirlenmesi: İşletmenin misyonu, vizyonu ve stratejik hedefleri belirlenir. Bu hedefler, işletmenin uzun vadeli başarısını destekleyen ana odak noktalarını temsil eder.

Hoshin planlarının oluşturulması: Üst düzey hedefler, orta ve alt düzeylere iletilir ve her seviyede stratejik hedeflerle uyumlu aksiyon planları oluşturulur. Bu planlar, belirlenen hedeflere ulaşmak için yapılacak projeleri, görevleri ve sorumlulukları içerir.

Hoshin planlarının dağıtılması: Hoshin planları, organizasyonun tüm seviyelerine iletilir ve çalışanların hedefleri anlaması ve kendilerine düşen sorumlulukları benimsemesi sağlanır. Bu iletişim ve paylaşım süreci, çalışanların hedeflere bağlılık hissetmelerini ve hedeflere ulaşmak için işbirliği yapmalarını sağlar.

Hoshin planlarının uygulanması: Hedeflere ulaşmak için belirlenen aksiyonlar ve projeler gerçekleştirilir. Performans ölçütleri ve hedeflerin takibi yapılır. İlerleme düzenli olarak değerlendirilir ve gerektiğinde düzeltici önlemler alınır.

Geri bildirim ve öğrenme: Hoshin Kanri sürecinde geri bildirim almak ve öğrenmek önemlidir. Başarılar kutlanır, başarısızlıklardan dersler çıkarılır ve sürekli olarak iyileştirmeler yapılır.

Hoshin Kanri 'nin temel prensipleri, stratejik hedeflere odaklanmayı, hedeflerin ortak bir vizyonla iletilmesini, katılımcı bir yaklaşımı, sürekli iyileştirmeyi ve takım çalışmasını

içerir. Bu yaklaşım, organizasyonun stratejik hedeflerine ulaşmasına rehberlik eder ve çalışanların hedeflere odaklanmasını sağlar(Assan ve Tanyaş, 2007:1014).

Yalın Üretimin Enerji Sektöründe Kullanımı

Yalın üretim, aslen otomotiv sektöründe ortaya çıkan ve daha sonra diğer sektörlerde de uyarlanabilen bir üretim felsefesidir. Enerji sektöründe de yalın üretim prensipleri başarıyla uygulanabilir ve birçok fayda sağlayabilir. Yalın üretimin enerji sektöründe kullanımının bazı örnekleri aşağıdaki gruplandırma ile verilmiştir.

Süreç verimliliği: Yalın üretim, süreçlerdeki israfı azaltmayı ve verimliliği artırmayı hedefler. Enerji sektöründe, enerji üretim ve dağıtım süreçlerindeki israfın azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması önemlidir. Yalın prensipler, enerji süreçlerindeki aksamaları ve bekleme sürelerini azaltarak daha verimli bir üretim sağlar.

Stok yönetimi: Enerji sektöründe, stok yönetimi ve envanter kontrolü önemlidir. Yalın üretim, stok miktarının minimize edilmesini ve stoktaki israfın azaltılmasını hedefler. Bu, enerji sektöründe depolama maliyetlerini düşürebilir ve talebe daha hızlı yanıt verme yeteneğini artırabilir.

Kalite yönetimi: Yalın üretim, kaliteyi ön planda tutar ve kalite kontrol süreçlerini güçlendirir. Enerji sektöründe, kaliteli enerji üretimi ve güvenilir enerji dağıtımı önemlidir. Yalın prensipler, kalite kontrol süreçlerinin iyileştirilmesini ve hataların önlenmesini sağlayarak enerji sektöründe güvenilirlik ve kaliteyi artırabilir.

İş gücü verimliliği: Yalın üretim, iş gücü verimliliğini artırmayı hedefler. Enerji sektöründe, iş gücünün etkin bir şekilde kullanılması ve iş süreçlerindeki israfın azaltılması önemlidir. Yalın prensipler, çalışanların daha verimli çalışmasını sağlar, iş yükünün dengeli dağıtılmasına yardımcı olur ve motivasyonu artırabilir.

Sürekli iyileştirme: Yalın üretim, sürekli iyileştirme felsefesine dayanır. Enerji sektöründe, sürekli iyileştirme ve yenilikçilik önemlidir. Yalın prensipler, sürekli iyileştirme kültürünün benimsenmesini ve iş süreçlerinde sürekli olarak iyileştirmeler yapılmasını teşvik eder. Enerji sektöründe yalın üretimin uygulanması, daha verimli, sürdürülebilir ve maliyet-etkin enerji üretimi ve dağıtımı sağlayabilir(Bayrakdar, 2016).

4. YÖNTEMBİLİM

Bu bölümde uygulama gerçekleştirilen firmanın iyileştirmek istediği ve yaşadığı problem ele alınmış olup adım adım yöntembilim önerisi sunularak firmanın karlılığını ve müşteriye cevap hızını arttırmaya yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

4.1. Problem Tanımı

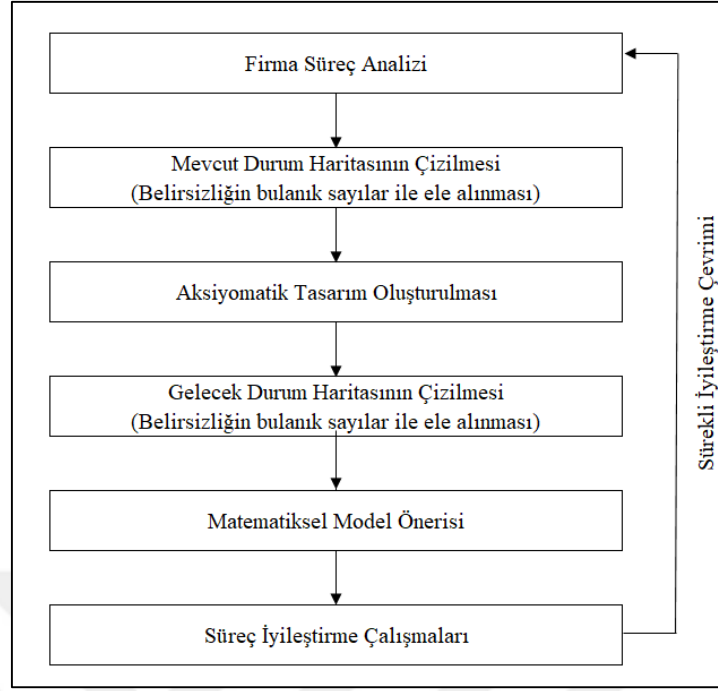
Uygulamanın yapılacağı firma enerji sektöründe faaliyet gösteren proje tipine göre üretim yapmaktadır. Firmanın birçok farklı türde direk üretimi mevcuttur bu çalışmada enerji nakil hattı direklerinin üretimi ele alınmıştır. Enerji nakil hatlarının üretim sürecinin karmaşık ve sürelerde belirsizliğin çok fazla olması sebebiyle firma termin sürelerinde sorun yaşamaktadır. Firmanın yaşadığı sorunlar aşağıda gruplandırılmıştır. Bu çalışmada gruplanan problemler için bir yöntembilim ortaya konulmuştur.

- **Tedarikçi problemi:** Firma yurt dışı yurt içi birçok firma ile çalışmaktadır. Bu sebeple hammadde termin süresi 2-10 hafta arasında büyük bir belirsizlik göstermektedir.
- **Depo düzeni problemi:** Firma dönemsel olarak fazla sipariş verebilmektedir. Bunun sebebi toplu alımlarda birim fiyat maliyetinin düşük olması veya yurt dışı alımlarında dolar/euro bazında farklılıklar olabileceği göz önünde bulundurularak fazla sipariş verilmektedir. Bu da siyah park olarak adlandırılan hammadde deposunda depo düzeni problemi yaşanmasına sebebiyet vermektedir.
- **Stok problemi:** Verilen fazla siparişler sebebiyle dönemsel stok problemleri yaşanmaktadır. Ayrıca tezgâhlar arasında ara stok miktarları ve parçaların bekleme süreleri fazladır.
- **Hazırlık ve işlem süreleri:** Süreler büyük bir belirsizlik barındırmaktadır. Fabrika içinde yerleşimin uzak olması ve hammadde deposundan malzemenin aktarımı arasında israf süreler gözlenmiştir. Makine boшта geçen süre, parça değişim süresi ve hurda oranları fazladır.

- Fabrika yerleşimi: Fabrika yerleşiminin ürün ailelerine göre olmaması ve parça değişimi için tezgâhlara uzak olan uçlar(matkap ve zımba uçları) işçilerin dolaşım süresini arttırmaktadır. Siyah parktan başlayan üretim tek parça akışa uygun düzenlenmemiştir.

4.2. Önerilen Yöntembilim

Bu bölümde firmanın yalın dönüşüme uygun olarak tasarlanması ve israflardan arındırılması için önerilen yöntembilim ele alınmıştır. Yöntembilim dört aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle firmanın süreçleri çıkarılarak mevcut durum haritası çizilmiştir, nasıl bir yöntem ile ilerleneceği ve iyileştirmelerin hangi alanlarda yapılacağını belirlemek için aksiyomatik tasarım oluşturulmuştur, bu tasarıma bağlı olarak gelecek durum haritası çıkarılarak hedeflenen amaç ifade edilmiştir. Bu uygulama enerji sektöründe yer alan bir firmada uygulanması sebebiyle süreçler karmaşıktır. Proje tipine bağlı bir üretim sistemi olması sebebiyle de hazırlık, işlem süreleri ve stok miktarları belirsizlik göstermektedir. Bu sebeple mevcut durum ve gelecek durum haritalarında bulanık sayılar kullanılmıştır. Problemlerin çözülmesi için fabrikanın yeniden yerleşiminin yapılması ve yalın üretim yöntemlerinin uygulanması önerilmiştir. Hücre sistemi kurulması ve ürün aileleri oluşturularak malzemelerin bu şekilde gruplandırılması önerilmiştir. Bu önerilen sistematik bir şekilde uygulanması için aksiyomatik tasarım haritası çıkarılmıştır. Bu harita da süreç içi israfların ortadan kaldırılması ve firma karlılığın arttırması için yöntemler belirlenmiştir. Bu yöntembilim ile firma süreçlerinin iyileştirilmesi, israfların ortadan kaldırılması ve yalın üretim felsefesinin çalışanlar tarafından benimsetilmesi ve uygulanması amaçlanmaktadır. Çalışmada önerilen yöntembilim firma süreç analizi, mevcut durum haritası, aksiyomatik tasarım, gelecek durum haritası, matematiksel model ve süreç iyileştirme çalışmaları başlıklarında detaylandırılmıştır. Süreç iyileştirme çalışmaları sürekli bir çevrim içermekle birlikte hedeflenen gelecek durum haritası sürekli iyileştirmeye uygundur. Uygulanan sürekli iyileştirme çevrimi adımları şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sürekli iyileştirme çevrimi

Firma Süreç Analizi: Bu bölümde fabrikanın sondan başa olmak üzere tüm süreçleri çıkarılmış ve müşteriye teslimden hammadde alımına kadar geçen sürelerin ölçümleri yapılacaktır. Firmanın raporlamaları, tesis planı, üretim bilgileri gibi her firma için kendine özgü olarak değişen veriler analiz edilecektir. Bu verilere istinaden ver doğruluğu ve veriye ulaşabilme kriterleri sağlandıktan sonra mevcut durum haritası çizimi işlemine geçilecektir. Firmada SAP sistemi kullanılmaktadır, veriler SAP sisteminden alınmıştır. Analiz için beş yıllık veriler, işlem süreleri için bir yıllık veriler kullanılacaktır.

Mevcut Durum Haritası: Fabrikanın yalın dönüşüme geçiş aşamasında ilk olarak mevcut durum haritası çizilmesi önerilmiştir. Görsel yönetimin sağlanması ve süreçlerin ve israfların net bir şekilde görülmesi için bu yöntem tercih edilmiştir. Fabrikada enerji nakil hattı üretimi aşamasında hangi süreçlerden geçiliyor ise hepsi ele alınmıştır. Stok belirsizliği ve işlem sürelerindeki ani değişimler dolayısıyla süre ve stok miktarları bulanık üçgen sayılar kullanılması tercih edilmiştir. Bu süreler oluşturulurken makine ve stokların bir yıllık toplanan verilerinin analizi yapılmış olup üçgen bulanık sayılar için örneğin işlem süresinde bir yıl boyunca en yüksek işlem süresi, en düşük ve en çok tekrar eden şeklinde ele alınmıştır.

Bulanık küme A olarak tanımlanırsa;

$A = (a, b, c)$ burada "a" en küçük olana karşılık gelir olası değer (alt sınır), "b" en olası değer ve "c" en büyük olasılık değeridir.

Üçgen bulanık sayıların gösterimi aşağıdaki gibidir.

$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) : x \in A, \mu_A(x) \in [0, 1]\}$ x klasik A kümesi ve üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ $[0,1]$ aralığına aittir.

Bulanık kümeleri net bir değere dönüştürmek için bir durulaştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemde en yüksek, en düşük ve ortalama değerleri toplanarak üçe bölünerek elde edilmiştir.

Mevcut durum haritasında işlem süreleri, hazırlık süreleri ve stok miktarları bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Bu sayıları durulaştırmak için aşağıdaki eşitlik (4.1) kullanılmıştır.(Wang vd, 2006)

$$K(\tilde{A}) = \frac{1}{3} * (a_1 + a_2 + a_3) \quad (4.1)$$

Aksiyomatik Tasarım: Bu çalışmada aksiyomatik tasarım kullanım amacı kullanılarak yöntemlerin sistematik bir şekilde ve adım adım oluşturulmasını sağlamaktır. Firmanın mevcut durumdan gelecek duruma geçişi için kullanabileceği sürekli çevrim içeren bir tasarım önerilmiştir.

Gelecek Durum: Mevcut durum haritası ile ortaya konulan durumu iyileştirmek amacıyla gelecek durum haritası çizilmiştir. Harita oluşturulurken aksiyomatik tasarımda verilen adımların takip edilmesi durumunda hedeflenen verilere yer verilmiştir. İşlem süreleri ele alınırken mevcut durum haritasında olduğu gibi üçgen bulanık sayılardan faydalanılmıştır. Tekrar bir durulaştırma işlemi gerçekleştirilerek durulaştırılmış işlem süreleri elde edilmiştir. Hücre sistemi önerilmiştir. Hammaddeden tedarikçiye ulaşana kadar tek parça akış sağlanmaya çalışılarak sistem israf sürelerden arındırılmıştır.

Matematiksel Model: İş yükü dengesizliği minimizasyonu için matematiksel bir model oluşturmak mümkündür. İş yükü dengesizliğini minimize etmek için aşağıdaki faktörleri dikkate alabiliriz.

- **İş Görevleri ve İşçi Yetenekleri:** İş görevlerini ve işçilerin yeteneklerini tanımlamak önemlidir. Her iş görevi için gereken beceri seviyelerini ve işçilerin yeteneklerini belirlemek gerekir.

- İş Miktarı ve İşçi Sayısı: İş miktarını ve işçi sayısını dikkate almak önemlidir. İş yükünü minimize etmek için işçi sayısı ile iş miktarı arasında denge sağlanmalıdır.
- İş Süreleri ve İşçi Verimlilikleri: İş sürelerini ve işçi verimliliklerini hesaba katmak gereklidir. İş sürelerini tahmin etmek ve işçi verimliliklerini belirlemek, iş yükü dengesizliğini minimize etmede önemlidir.
- İş Öncelikleri ve Sıralama: İşler arasındaki öncelikleri ve sıralamayı belirlemek gerekir. Öncelikli işler önce tamamlanmalı ve sıralama doğru bir şekilde yapılmalıdır.
- Matematiksel modeli oluştururken, iş görevleri, işçi yetenekleri, iş miktarı, iş süreleri, işçi verimlilikleri, iş öncelikleri ve sıralama gibi değişkenleri matematiksel ifadelerle temsil edebiliriz. Bu ifadeler, iş yükü dengesizliğini minimize etmek için optimal çözümü bulmak amacıyla bir optimizasyon problemini çözmek için kullanılabilir.
- Optimizasyon algoritmaları veya lineer programlama gibi matematiksel yöntemler kullanarak, iş görevlerinin ve işçilerin optimize edilmiş bir şekilde eşleştirilmesini sağlayabiliriz. Bu, iş yükü dengesizliğini minimize etmek ve işçiler arasında iş yükünü daha adil bir şekilde dağıtmak için kullanılabilir.

Önerilen matematiksel model ile çalışanlar arasındaki iş yükü dengesizliğinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Hücrelere atanacak işler belli olup işçilerin işleri yapma süreleri bellidir. Her işçinin performansı ve yetkinliği farklıdır. İşçilerin yetkinliğinin olmadığı işlere yüksek işlem süresi atanarak bu işçileri görev atanmaması sağlanmıştır. Bu süreler göre dengesizlikleri minimize edece şekilde hücre ve görevlere işçi ataması gerçekleştirilmiştir. Problem çözümü için GAMS programı kullanılmıştır.

Süreç İyileştirme Çalışmaları: Çalışmanın uygulanabilirliği için süreç iyileştirme çalışmalarının sürekli çevrim olarak işlenmesi gerekmektedir. Yalın dönüşüm sonsuz bir iyileştirme çevrimidir. Her zaman en iyiye ulaşmak amacıyla sistem üzerinde iyileştirme yapma çalışmalarına dayanır. Bu çalışmada süreç iyileştirme çalışmalarından sonra tekrar firma süreç analizi, mevcut durum, gelecek durum olmak üzere tekrar iyileştirme için hedef oluşturmaya dayanır. Süreç iyileştirme çalışmasında gelecek durumu hedeflerken yapılan çalışmalara da yer verilecektir.

5. UYGULAMA

Uygulama altı alt başlıktan oluşmaktadır. Bu başlıklar uygulama adımlarını temsil etmektedir. Adımlar takip edilerek fabrikanın yalın dönüşümü ve süreç iyileştirme çalışmaları ele alınacaktır.

5.1. Firma Süreç Analizi

Firma tüm dünyada 6 kıtada 140'tan fazla ülkeye toplam 3.805.400 ton satış yapmaktadır. Firma vizyonu ulusal ve uluslararası pazarlarda sektörüne yön veren küresel bir marka olmaktır. Bu amaçla misyonu insan yaşam kalitesini yükseltmek ve küresel gelişime katkıda bulunmak amacıyla ekonomik, özgün, yenilikçi ve güvenilir ürün, çözüm ve hizmetleri küresel olarak sunmaktır. Fabrikanın kuruluşundan itibaren aktif olarak yurtiçi ve yurtdışı olmak üzere imalatını sürdürdüğü enerji nakil hat direklerinin imalatı şirketin vazgeçilmez imalat ve gelir kaynağıdır. Yüksek gerilim elektrik enerjisinin üretildiği merkezden tüketim noktalarına iletilmesi enerji nakil direkleri ile havadan yapılmaktadır. Şirket bünyesinde yapılan direk imalatı demir direkler üzerinedir. Demir direkler ağaç direklere göre daha uzun ömürlü ve betonarme direklere göre daha hafiftir. Demir direkler iletkenin her tipine göre tertip edilebilir ve ileride oluşabilecek her türlü deformasyonlarda daha kolay bir şekilde revizyonları gerçekleştirilebilmektedir. Ancak beton direklere göre bakım ve işletme maliyetleri daha fazladır. Üretim tipi olarak bakıldığında firma proje tipi üretim yapmaktadır. Proje tipi olması sebebiyle müşteri istekleri doğrultusunda üretim gerçekleştirir. Bu nedenle neredeyse hiçbir proje birbirine benzememektedir. Mevcut projeleri enerji nakil hatları, telekomünikasyon direkleri, trafo çelik yapıları, poligon direkleri, yapısal bağlantı elemanlarıdır. Firma süreçleri aşağıdaki başlıklarda yer almaktadır.

Genel Süreç: Satış birimi mevcut müşteriler ile görüşerek müşteri isteklerine göre projenin yapılabileceğine karar verir. Bu kararı verirken Planlama bölümü ve maliyetlendirme bölümlerinden destek alır. Planlama bölümü projenin yapılabilirliği ve yapılması durumunda termin süresinin ne kadar olacağını bildirir. Maliyetlendirme

bölümü ise projenin maliyet kalemlerini çıkararak projenin yapılması durumunda ne kadarlık bir maliyeti olacağını çıkarır. Proje alındıktan sonra ise her proje için bir proje mühendisi ve imalat mühendisi ataması yapılır. Proje yönetimi daha çok müşteri tarafıyla ilgilenirken imalat yönetimi kısmı ise projenin fabrikalar ve dış tedarikte üretilme oranlarını ve termin süreçlerini takip eder. Projenin üretimi tamamlandıktan sonra paketlenme ve sevk işlemleri gerçekleştirilir. Müşteri ile anlaşılma durumuna göre sevkiyat gerçekleştirilir. Fabrika 'ya ait planlama ve imalat bölümlerinin süreç analizi aşağıda özetlenmiştir.

Planlama Süreç Adımları: Planlama projenin alımından teslimine kadar tüm süreçlerde var olan bir bölümdür. Planlama süreçleri aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- Proje alınmadan önce Satış mühendisleri planlama bölümü ile görüşerek proje termin planı oluşturulur (Bu proje planı sipariş alınmadan önce veya sonra yapılabilir, müşteri ilişkilerine göre değişken bir durumdur). Bu kısımda diğer fabrikalar ile görüşme yapılarak projenin yapılabilirliği ve süresi sorgulanır.
- Alınan projenin ayrıntılarını görüşmek için kick off toplantısı yapılır (Projeye göre değişkenlik gösterir az tonajlı ve bilinen bir yapı için yapılmayabilir). Bu toplantıya hemen hemen her fabrikadan ilgili kişiler katılır ve görüşlerini belirtirler.
- Proje alındıktan sonra çeşitli bölümlerden geçerek planlama bölümüne gelir Planlama da iş dağıtım kısmında yetkili kişiler tarafından açılan projeler SAP üzerinden gerekli fabrika ve bölümlere dağıtılır.
- Açılan proje ön malzeme çalışması (ÖML) veya açılmış bir proje için olabilir (ÖML projeye başlamadan önce yapılan ön çalışmadır, stok malzemesi alınabilir veya stoka rezerv edilebilir).
- Malzeme çalışması yapıldıktan sonra gerekli SAP adımları işlenir. Stoka malzeme çalışanlar istediği kadar satın alma siparişi oluşturabilmektedir. Ekonomik sipariş miktarı uygulanmaz tecrübeye dayalı bir şekilde malzeme alımı gerçekleşir (Bu alımları engellemek için SAP 'de bir uygulama yapılarak satın alma siparişi oluşturulduğunda yönetici onayına giderek onaylanma süreci gerçekleştirilir).
- Malzemeler proje için rezerv edildikten sonra (satın alınan malzemeler geldikten sonra, stokta olan malzemeler için sadece rezerv edilir) proje sevk tarihine göre malzemeler imalata aktarılmadan önce öncelikle kesimleri yapılır. Kesim için kesim1b programı kullanılır.
- Kesim yapılırken malzemelerin poz boylarına göre yerleştirip minimum fire oranı ile kesim yapılır. Farklı projeler de aynı pozlar geçiyor ise birleştirilip kesilebilir.

- Kesimi yapılan malzemeler imalata verilir, sevk tarihine göre sıralanan bu malzemeler imalatta öncelikli olarak kalın, orta, ince malzeme olarak ayrılır. İmalat için aynı işlem adımlarından geçen aynı malzemeler çok önemlidir. Böylece delik çapını ve CNC ayarlarını değiştirmeden seri üretim şeklinde üretimini yapabilir.
- İmalatta işi biten projeler bitmiş ürün stok olarak paketleme bölümüne gitmeyi bekler. Paketleme bölümü ise farklı lokasyondadır. Günlük sevkiyatlar ile merkez fabrikadan diğer fabrikaya gider.
- SAP üzerinden malzemenin fiili olarak paketlemesi gerçekleşmeden önce paketleme işlemleri yapılır. Hangi malzemelerin hangi malzemeler ile nasıl şekilde paketleneceğini belirten bir durumdur.
- Paketlemesi biten projeler peyderpey veya tüm direk olarak sevk edilir. Sevki denizyolu, karayolu veya havayolu ile gerçekleştirilebilir. Bu projenin yapıldığı ülkeye ve müşteriye göre değişen bir durumdur.
- Proje müşteriye ulaştıktan sonra bir yanlışlık veya uygunsuzluk olması durumunda proje tekrar üretilip gönderilir.

Planlama bölümü için balık kılçığı ile yaşanan problemler ve israf kaynakları Ek-1’de verilmiştir. Çoğunluğu SAP üzerinden iyileştirme yapılabilecek süreçlerdir. Firmadan alınan bilgiler SAP üzerinden alınmış olup imalat verileri için makine doğruluğu %85 alınmıştır.

İmalat Süreci: Tüm imalat süreçleri aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- Müşteriden alınan bir projenin imalata aktarılması ile süreç başlar.
- İmalat kartlarındaki malzemeler öncelikle hammadde deposundan alınarak tezgâh önüne getirilir.
- Gelen malzemeler kalınlıklarına veya proje tiplerine göre kalın, ince ve orta olarak kalınlıklar ayrılmıştır ancak bazı projelerde ince malzeme olsa dahi kalın malzemelerin işlendiği matkap tezgâhlarında işleme alınabilir.)
- Malzeme CNC tezgâhına yüklenir.
- CNC giriş işlemleri yapılır.
- Malzeme işlenerek ürün haline getirilir.
- Ürün kontrol edilir. Hatalı üretim yok ise tezgâhın ilerisine istiflenir. SAP teyidi verilir.
- İmalat kartına göre başka bir operasyonu var ise (bükme, oyma, yanak açma-kapama) ilgili tezgâhlara yönlendirilir.

- İkinci operasyonu da tamamlayan ürüne SAP teyidi verilir.
- İkinci operasyonu da tamamlayan ürünlerin kaynak işlemi var ise kaynak istifleme bölümüne, kumlama var ise kumlama malzemelerin istifleme bölgesine veya galvaniz işlemi var ise galvaniz malzemelerin istifleme bölgesinde istiflenir (Bu istiflemeler termin tarihi öncelikli olarak şekilde yapılır).
- Merkez fabrikada galvaniz işlemi olduğu için bu işlem ile devam edersek, galvanizleme için öncelikle malzemeler kalın, orta, ince ayrımlarına göre sallara aşağıdaki şekildeki gibi dizilir.
- Sallara dizilen malzemeler sıralamaya göre işleme alınırlar. Galvaniz Atölyesi yerleşimi, galvaniz operasyonlarını izleyecek şekilde (Yağ Alma – Asit – Su – Flaks – Kurutma – Galvaniz – Soğutma) konumlandırılmıştır. Havuzlar üzerindeki malzeme akışı, hat üzerinde bulunan vinçler yardımı ile yapılmaktadır.
- Galvanizleme işleminde öncelik kalın, orta ve ince malzemelerin düzgün ayıklanmasıdır. Galvaniz sıvısında kalma süresi kalınlığa bağlı değişen bir parametredir.
- SAP üzerinden nakillerin gerçekleştirilmesi.

İmalat sürecindeki eksiklikler Ek-1 balık kılıcı ile verilmiştir. İmalata direkt etki eden en önemli bölüm planlama bölümüdür. Bu nedenle planlama süreçlerini de yer verilecektir. Ürünlerin İşlem Adımları: Planlama bölümünden gelen imalat kartları termin tarihlerine göre ayrılır. Tezgâh yoğunluğuna göre plan yapılarak malzemeler kalın, orta, ince olarak üç bölüme ayrılır. İmalat için önemli olan projenin pozlarıdır. Projenin pozlarının aynı olması işlem adımlarının aynı olması anlamına gelir. Aynı işlem adımlarından geçen aynı pozlar CNC makinelerinde seri üretim gibi üretim yapabilirler. Fabrikada toplamda 13 tezgâh bulunmaktadır. Bu makinelerin işleyebileceği malzeme formatları tablo 2’de verilmiştir. İnce malzemeler (L30X30X3 – L60X60X6) arasındaki malzemeler zımba tezgâhlarında işlenir.

Tablo 2. Malzeme formatları

Malzeme Kalınlığı	Malzeme
5mm’den küçük	İnce Malzemeler
5mm - 13mm	Orta Malzemeler
14mm ‘den büyük	Kalın Malzemeler

Bu atölyede ağırlıklı olarak köşebent, I profil, H profil ve U profillerden oluşan kafes yapılarının parça imalatı gerçekleştirilmekte. Siyah Parkta depolanan hammaddelerin bu atölyeden nihai iş parçası olarak çıkma süreci Birincil İmalat ve İkincil İmalat aşamalarından geçerek tamamlanmaktadır. Birincil İmalat olarak CNC tezgâhları ile parça üzerinde ikincil imalat yapılmayacak olan bölgelerdeki delikler zımba veya matkap yardımıyla delinerek İkincil imalat aşamasına geçiş yapmaktadır. Her bir parçanın imalat kartı üzerinde ikincil olarak yapılması gerekenler not olarak eklenerek belirtilir. İkincil imalat aşamasından geçmeyecek parçalar galvaniz için hazırlanırken, ikincil imalatı olan parçalar ayrı olarak depolanarak makine operatörlerince ilgili ikincil imalat makinelerine alınır. İkincil imalat; bükme, yanak açma-kapama, sırt taşlama, oyma, raybalama işlemleri olarak her parça özelinde farklılık göstermektedir. Bu imalat aşamalarını tamamlayan iş parçaları galvaniz hattına alınarak Sal olarak adlandırılan platformlara insan gücü ile asılır. Daha sonrasında sadece galvaniz hattında çalışan gezer köprülü vinçler yardımıyla sırasıyla galvanize hazırlama, galvaniz aşaması ve bu aşamadan sonra sallarda vinç yardımıyla galvaniz hattından alınmasıyla kafes direk imalat atölyesinden tahliyesi yapılır. Atölyedeki imalat yöntemleri bükme, oyma, yanak açma-kapama, yanak kesme, raybalama, bükmeden sonra delik delme, CNC makineleriyle markalama/delik delme/kesme, sırt taşlama, havşa açma, galvanizdir. Üretim hattında raylı oksijen, planya, el plazma kesim, sütunlu matkap, şerit testere tezgâhları kullanılır.

CNC makineleriyle zımbayla markalama/delik delme/kesme: Dışarıdan gelen işlenmemiş hammadde yüzeyine zımbalama, markalama yapıp istenilen ölçüde kesilir. Siyah parktan gerekli malzeme talep edilir ve 5 ton taşıma kapasitesine sahip vinçlerle malzeme tezgâha alınır. Kesim planında bulunan fiş numarasına göre pozlara ait veriler bilgisayarla tezgâhlara aktarılır. Zımbayla delik açılan malzeme kalınlığı 3-16 mm arasında değişir. Delik açma sonrasında malzeme istenilen ölçüde kesilir. İmalat işlemi biten pozun SAP 'tan CNC teyitleri verilir. Zımbayla oluşan çapaklar tezgâhın altındaki konveyöre oradan da hurdaya götürülmek üzere konteynere taşınır.

CNC makineleriyle matkapla markalama/delik delme/kesme: CNC kontrollü şerit testerelede hammadde kesimi yapılarak gelir. Fiş numarasına göre siyah parktan gerekli malzeme talep edilir. Malzeme vinç yardımıyla tezgâhın yükleme konveyörüne konulur. Malzemeler vinç yardımıyla tezgâha konulur. Kesim planındaki fiş numarası yazılarak veri çekilir. Tezgâhtaki şaryo koluyla malzeme tutularak tek eksenle hareket ettirilir. Malzeme

uygun pozisyonlarda durarak uygun matkaplar malzemenin istenilen yerine delik açar. Tezgâhta HSS (high speed steel), karbür veya modüler uçlu olmak üzere üç farklı türde matkap kullanılabilir. HSS ve karbür tarzı matkap uçları uzun ömürlü ve yavaş delik delerken, modüler uçlu matkaplar kısa ömürlü fakat çok daha hızlı delik delme kapasitesine sahiptir. İmalat işlemi biten pozun SAP 'tan CNC teyitleri verilir.

Bükme operasyonu: 1.operasyonu (markalama, delme, kesme) tamamlayan parçalar bükme için dik pres ya da yatık pres tezgâhlarına iletilir. Kalınlığı 14 mm'den fazlaysa parçalar indüksiyon fırınında, azsa şaloma yöntemiyle istenilen sıcaklığa getirilir. Yüksek ısıya maruz kalan parçalar hidrolik pres ya da uygun şablonlar ile kesim planına uygun açıda bükülür. Büküldükten hemen sonra çekiçle dövülerek bölgede şişme veya yüzeysel kusur engellenir.

Oyma operasyonu: CNC den oyma operasyonu yapılacak olan parçalar termin tarihine göre tezgâha koyulur. Daha sonra güçlü bir hidrolik pres, eksantrik pres, plazmayla kesme veya şerit testereyle gerçekleştirilir. Malzeme kalınlığı 12 mm den büyükse veya müşterinin özel isteğine göre plazmayla ya da şerit testereyle de oyma operasyonu yapılabilir. Ortadan oyma işlemleri için, Eksantrik pres tezgâhının bıçakları daha kısa olduğundan köşebentlerin orta kısımlarında oyma gerçekleştirilebilir. Bu işlemi tamamlayan parçalara yüzeyi pürüzsüzleştirmek için taşlama yapılır. Oyma yüzeylerinde yırtık, çentik, çapak olmamalıdır.

Yanak Açma/Kapama: Malzemeler havalı pres, dik pres, yatık pres tezgâhlarında imalat kartları doğrultusunda uygun konum boy ve açılara göre şablon konulup işlenir. 90°C 'nin üstündeki açılar için yanak açma, küçükler için yanak kapama yapılır. Yanak açma/kapama yapılacak kısımlar oksijenle ısıtılır. Isıtılmazsa çatlak, kırık gibi hasar ihtimali artabilir. Malzemeye uygun kalıp tezgâha konur ve operasyon gerçekleştirilir.

Sırt Kesme Operasyonu: Bu operasyonla bağlantı elemanı olan parçaların montajı kolaylaşır, sırt taşlama işlemi görecektir parça bu sayede daha kolay işlem görür. İşlem görecektir parça tezgâha yerleştirilir. 980°C sıcaklığında gaz çıkışı sağlayan torç ile köşebent şeklindeki parçanın sırtı kesilir.

Sırt Taşlama Operasyonu: Köşebent malzemelerin sırtına taşlama yapılır. Sırt taşlamayla köşebent bağlantı parçalarının arasında boşluk olmadan daha kolay monte edilir.

Havşa açma: Havşa açmayla önceden delinmiş deliklere konik veya silindirik yuvalar açılır, eksenleri kaçık delikleri büyötmek için de kullanılır.

Bükmeden sonra delik delme: Bükmeden sonra delik delinmesinin sebebi deliğin konumunun bozulmamak istemesidir. Hata payının azalması için şablon konulup zımbayla delinir.

Raybalama: Deliğe uygun zımba ucu yoksa ona yakın değerde çap açılarak bu metotla genişletilir. Zımba sayısı yetersiz kaldığında da raybalamayla zımba ile delinen delikler genişletilir.

Yanak Kesme: Malzemenin yanağının biri farklı bir ölçüde kesilmek isteniyorsa yanak kesme yapılabilir. Metreyle ölçüm yapıp kesilecek yerler belirlenir ve hava ve elektrikle kesilir.

Galvaniz Süreci: 1.ve 2. Operasyonu tamamlanmış parçalar uzunluklarına göre dik ve yatay olacak şekilde çinko kaplı olmayan askılara asılır. Askılara asılmış ürünler üzerlerindeki yağ giderilmesi amacıyla yağ banyosuna alınır. Yağ banyosundan çıkan ürünler göz ve elle kontrol edilir. Ürünlerin yüzeylerinin oksit tabakasından arınması için asit banyosunda tutulur. Ürün yüzeyinde kalmış demir tozlarının ve asit tabakasının temizlenmesi için ürünler içinde su bulunan yıkama banyosuna daldırılır. Sonraki aşamada ürünler flaks banyosuna daldırılır. Flaks damlalar halinde akmaya başlayana kadar banyo yüzeyi üzerinde bekletilir. Ürünler kurutma işlemine alınır. Flaks tabakası tamamen kuruyup nem kalmayınca kadar kurutma fırınında tutulur. Çinko kaplama işlemi çinko banyosuna gönderilir. Ürünler minimum ortalama kaplama kalınlığı sağlanacak süre kadar tutulur. Sonrasında soğutma suyuna daldırılarak soğutulur. Ürünler askılardan sökülüp istiflenir.

Ürün Ailesi Seçimi: Ürün ailesi aynı işlemlerden geçen ürünlerin ortaklıkları baz alınarak bir ürün ailesi oluşturulur. Bu mevcut durum haritası çizilmesini kolaylaştırarak süreçlerin ortak adımlar için nasıl işlediğini daha iyi kavramamızı sağlar. Uygulama yapılan fabrikada enerji nakil hattı, trafo, anten gibi ürünler üretilmektedir. Son ürün olarak enerji nakil hattı miktar olarak çoğunlukta olduğundan dolayı bu çalışmada enerji nakil hatları seçilmiştir. Seçilen enerji nakil hattı direkleri ürün ailesinde kullanılan malzemeler analiz edilerek kendi içerisinde aynı süreçten geçen ancak makineleri farklı olan ince, orta ve kalın malzeme türleri makinelere göre işlenebilirliği 0-1 matrisi ile tablo 3'te gösterilmiştir. Bu matrise göre malzemeler sınıflandırılmış olup hammadde depodan itibaren bu sınıflandırma ile sisteme alınacak hücrelere malzemeler gönderilecektir. Elde ettiğimiz makine grupları ilgili ürünlerin üretiminin büyük bir bölümünü (%80'den fazla) gerçekleştirmektedir.

Tablo 3. Ürün makine matrisi

Ürün/Makine Matrisi	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M1 0	M1 1	M1 2	M1 3
L200X16	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L150X14	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L200X20	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L180X16	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L150X15	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L150X1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNP200	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L180X14	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L150X12	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
L90X6	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
L90X8	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
L130X12	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
L110X8	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
L120X11	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
L100X7	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
L75X5	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
L75X6	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
L70X7	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
L50X5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
L50X4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
L45X5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
L45X4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
L40X4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
L51X4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
L50X3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Tablo 3’te ürünler kısaltılmış formatta verilmiştir. Ürünler köşebent malzemeyi temsil etmektedir. L200x16 olan gösterim L200x200x16 formunu temsil etmektedir.

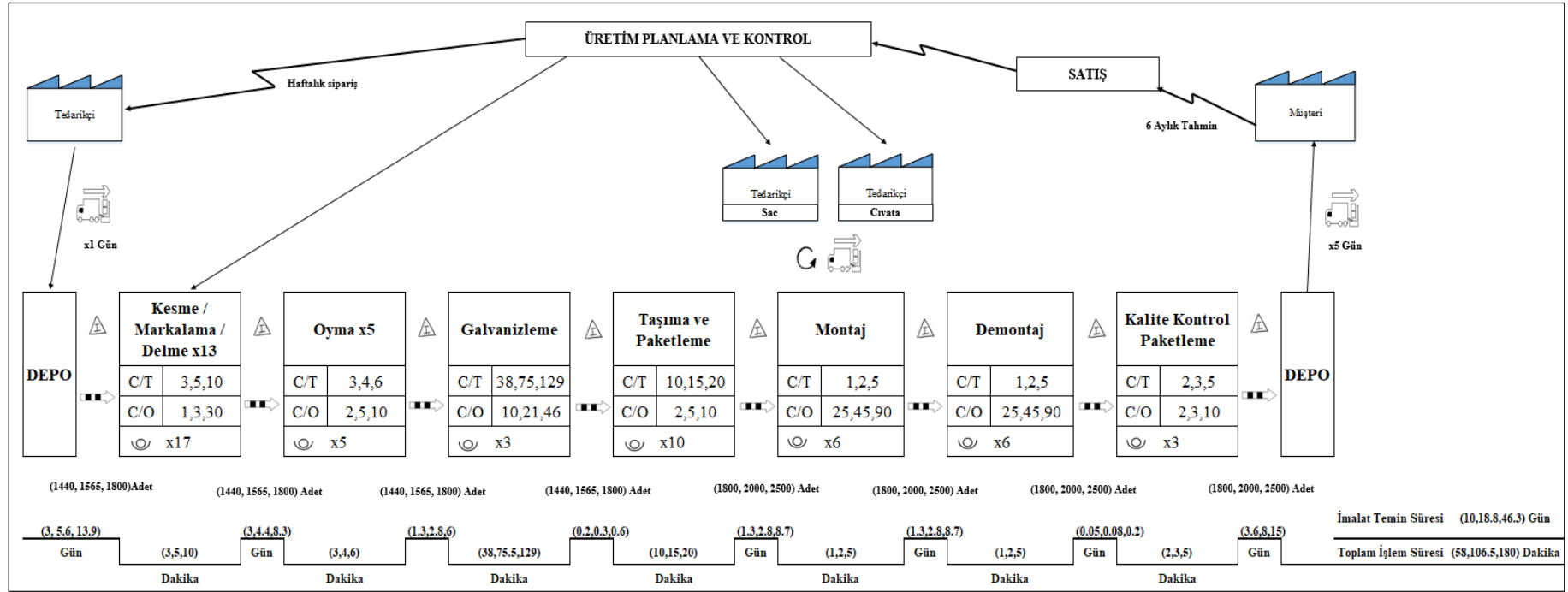
5.2. Mevcut Durum Haritası

Bu bölümde yöntembilimde yer alan kriterler dikkate alınarak fabrikanın sondan başa olmak üzere bir ürün ailesi için mevcut durum haritası çizilmiştir. İşlem süreleri, stok miktarları ve stok süreleri bulanık sayılar ile hesaplanmıştır. Bu sayılar yöntembilimde verilen yöntem ile durulaştırılmıştır. Aşağıdaki tabloda işlem süreleri hesaplamaları yer

almaktadır. Ek-2’de hazırlık süreleri, stok adetleri ve stok süreleri bilgileri verilmiştir. İşlem süreleri için bir yıllık veriler kullanılmış olup en yüksek değer olan c için bir yılda yapılan en yüksek işlem süresi, b medyan için en çok tekrar eden işlem süresi ve a minimum değer için en az süren işlem süresi ele alınmıştır. Tablo 4’te verilen işlem süreleri dakika cinsindendir.

Tablo 4. Mevcut durum bulanık işlem süreleri

İşlem	Bulanık sayılar			Durulaşmış değer
	a(min)	b(medyan)	c(max)	
Kesme / Markalama / Delme	3.0	5.0	10.0	6.0
Oyma	3.0	4.0	6.0	4.3
Yağ Alma	1.0	2.0	5.0	2.7
Asit	30.0	60.0	99.0	63.0
Su	1.0	1.5	5.0	2.5
Flaks	1.5	2.0	3.0	2.2
Kurutma	0.5	1.0	2.0	1.2
Galvanizleme	3.0	7.0	10.0	6.7
Soğutma	1.0	2.0	5.0	2.7
Galvanizleme	38.0	75.5	129.0	80.8
Paketleme	10.0	15.0	20.0	15.0
Montaj	1.0	2.0	5.0	2.7
Demontaj	1.0	2.0	5.0	2.7
Kalite Kontrol Paketleme	2.0	3.0	5.0	3.3



Şekil 3. Mevcut durum haritası

Tablo 4'teki yağ alma, asit, su, flaks, kurutma, galvanizleme ve soğutma işlemlerinin toplamı galvanizleme sürecidir. Yukarıdaki verilere göre mevcut durum haritasının süreleri eklenmiştir. Harita detayı şekil 3' te gösterilmiştir. Şekil 3'te mevcut durum haritası oluşturulurken ara stokların bekleme süresi bulanık olan stok miktarları ile çevrim sürelerinin çarpımı ile bulunmuştur. Galvanizleme süreci için bir salda maksimum 30 adet malzeme taşındığından dolayı stok süresi hesaplanırken 30 adede bölünmüştür. Benzer şekilde montaj işleminde iki parça arasında geçen süre olarak temel alınmış olup paketleme sürecinde ise maksimum 50 adet şeklinde paketleme yapıldığı için 50'ye bölünmüştür. Şekil 3'te görüldüğü gibi işlem süresi ile akış süresi arasında çok fazla fark bulunmaktadır. Bu farkı azaltmak için aksiyomatik tasarımdan faydalanarak adım adım süreç iyileştirme ve sistem tasarımı gerçekleştirilecektir. Mevcut durumun imalat temin süresi 25 gün iken toplam işlem süresi 114.8 dakikadır. Takt süresi hesaplanırken pazar günleri çıkarılmıştır ve ay 30 gün olarak temel alınmıştır. Çalışma süresi 2 vardiya olmak üzere 14 saat kabul edilmiştir. Proje miktarı değişiklik göstermek ile birlikte 200 olarak kabul edilirse takt süresi 17.47 saat/proje olarak hesaplanabilir. Bu demek oluyor ki müşteriye 17.47 saatte bir sevkiyat yapılmalıdır. Ancak termin süreleri minimum 8/10 hafta şeklindedir. Bu sürenin iyileştirilmesi için gelecek durum haritası tasarlanmalıdır. Süreçteki israf noktaları belirlenerek süreç iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Böylece firma karlılığı artırılıp israflardan arındırılmış bir sistem tasarlanabilir.

5.3. Aksiyomatik Tasarım Uygulaması

Bu bölümde enerji sektöründe yer alan bir firmanın yalın dönüşümü için aksiyomatik tasarım oluşturulmuştur.

İsraflardan Arındırılmış Üretim Sistemi Tasarımı

Firma siparişe dayalı bir üretim anlayışına sahiptir. İlk siparişten aşlayarak çekme sistemi gibi düşünülse de iç süreçlerde bir itme söz konusudur. Bu durum malzemelerin stokta bekletilmesi sebebiyle israfa yol açmaktadır. Bu sistemi israflardan arındırmak müşterilere daha hızlı sürede siparişleri teslim etmek için aşağıdaki aksiyomatik tasarım ilkeleri takip edilecektir. İsraflardan arındırılmış üretim sistemi kurmak için fabrikada Yalın Dönüşüm gerçekleştirilecektir. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

FR 1 = Fabrikanın görsel izlenilmesi

DP 1 = Oobeya ve Asakai alanının belirlenmesi

FR 2 = Hedeflenen Durumun Ortaya Konulması

DP 2 = Gelecek durum haritası

FR 3 = Standartların belirlendiği bir üretim ortamı sağlanması

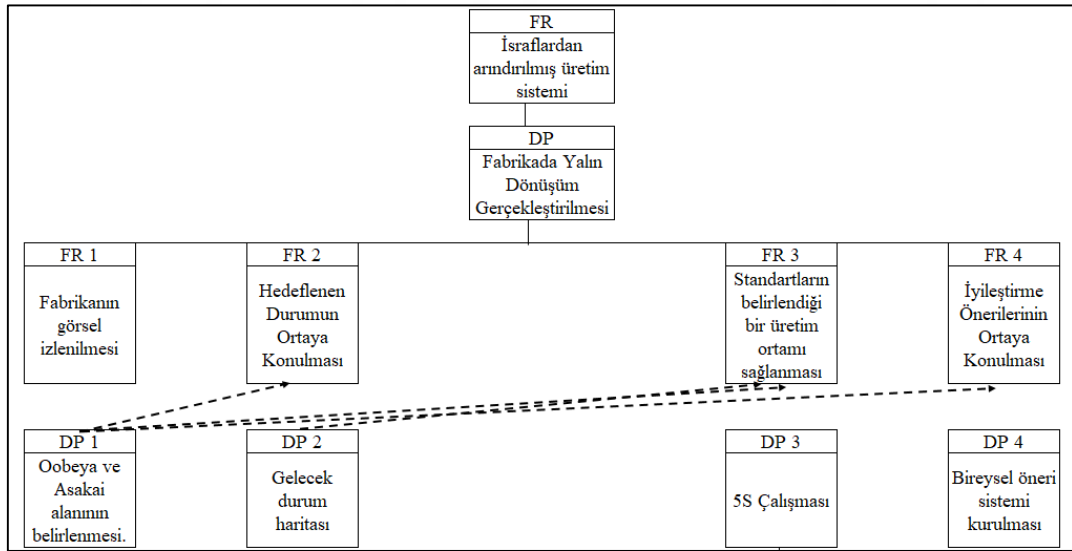
DP 3 = 5S Çalışması

FR 4 = İyileştirme Önerilerinin Ortaya Konulması

DP 4 = Bireysel öneri sistemi kurulması

Bu tasarım, ayrılmış tasarımdır buna göre AT metodolojisi bağımsızlık aksiyomunu sağladığı sonucu çıkmaktadır. Elde edilen ayrılmış tasarım (5.1)'de tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \\ FR4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & \\ X & X & & \\ X & X & X & \\ X & & & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \\ DP4 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$



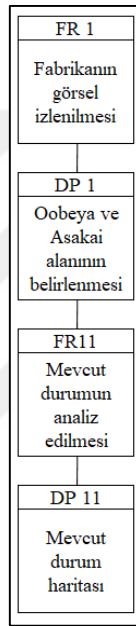
Şekil 4. FR'nin ayrıştırılması

Fabrikanın Görsel İzlenilmesi

Yalın dönüşüm gerçekleştirilmesi için ilk olarak sistemin incelenmesi ve fabrikanın incelenmesi gerekmektedir. Bu aşamada sondan başa tüm süreçler yerinde incelenerek mevcut durum analiz edilecektir. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

FR 11 = Mevcut durumun analiz edilmesi.

DP 11 = Mevcut durum haritası



Şekil 5. FR1'in ayrıştırılması

Hedeflenen Durumun Ortaya Konulması

Hedeflenen durumun ortaya konulabilmesi için gelecek durum haritası çizilecektir. Mevcut durumda analizi yapılan süreçlerin iyileştirilmesi ve yalın dönüşümün uygulanması için aşağıdaki aksiyomlar ile süreç devam edecektir. Gelecek durum haritası çizilirken mevcut süreçlerde yaşanan sorunlar analiz edilerek nasıl yalın dönüşüme uygun bir süreç tasarlanabiliriz sorusuna cevap aranacaktır. Bu süreçler her firmaya göre farklılık göstermekle birlikte ana çatı olarak benzerlik göstermektedir. Muda kaynakları belirlenir ve çözümü için çalışmalar yapılır. Yalın dönüşümde çalışanların her süreçte etkin olarak rol alması sağlanmalıdır. Süreçler çıkarılarak sürece uygun üretim sistemi tasarlanmalıdır. Bu tasarımın veri yönetimine bağlı çalışması sağlanmalı ve ekipmanların doğru bilgi

verdiğinden emin olunmalıdır. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

FR 21 = Sürece uygun üretim sistemlerini kullanmak

DP 21 = Hücresel, fonksiyonel, seru üretim sistemi kurulması

FR 22 = Veri yönetimli malzeme planlamanın iyileştirilmesi

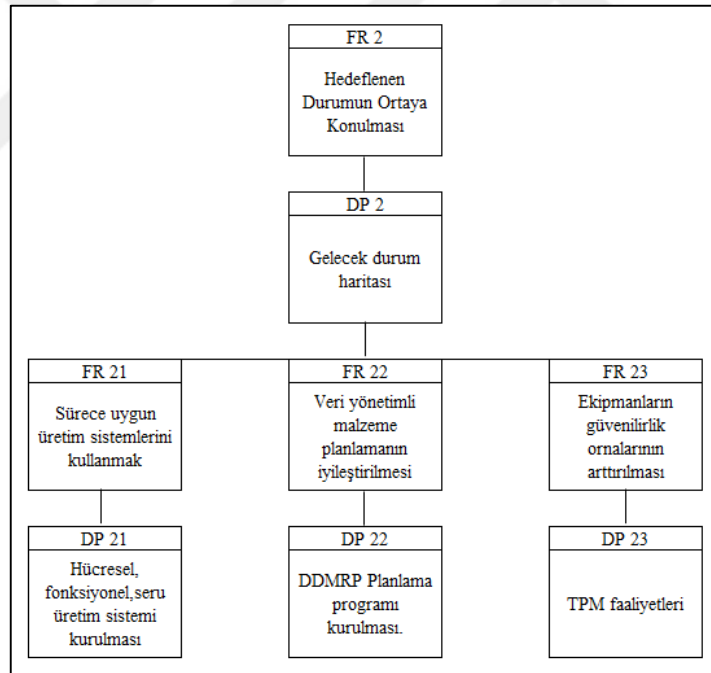
DP 22 = DDMRP Planlama programı kurulması.

FR 23 = Ekipmanların güvenilirlik oranlarının arttırılması

DP 23 = TPM faaliyetleri

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.2)'de tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR21 \\ FR22 \\ FR23 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ & X & \\ & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP21 \\ DP22 \\ DP23 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$



Şekil 6. FR2'nin ayrıştırılması

Sürece Uygun Üretim Sistemlerini Kullanmak

Sürece uygun üretim sistemi tasarlamak için üretim sisteminin hücresel mi fonksiyonel mi seru sistemine mi uygun olduğuna karar vermek gerekmektedir. İki sistemin birlikte kullanıldığı durumlar da olmakla birlikte uygun üretim sistemi verimlilik artışına sebep

olacaktır ve mudaları minimize edecektir. Sürece başlarken uygun hücresel sistem kurulur, tesis planı yapılır ve hücrelere çalışan ataması yapılır. Bu süreçler için gerekli aksiyomlar aşağıdadır. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

FR 211 = Hücresel sistem kurulması

DP 211 = Ürün ailesinin belirlenmesi

FR 212 = Hücrelerin ve departmanların konumlandırılması

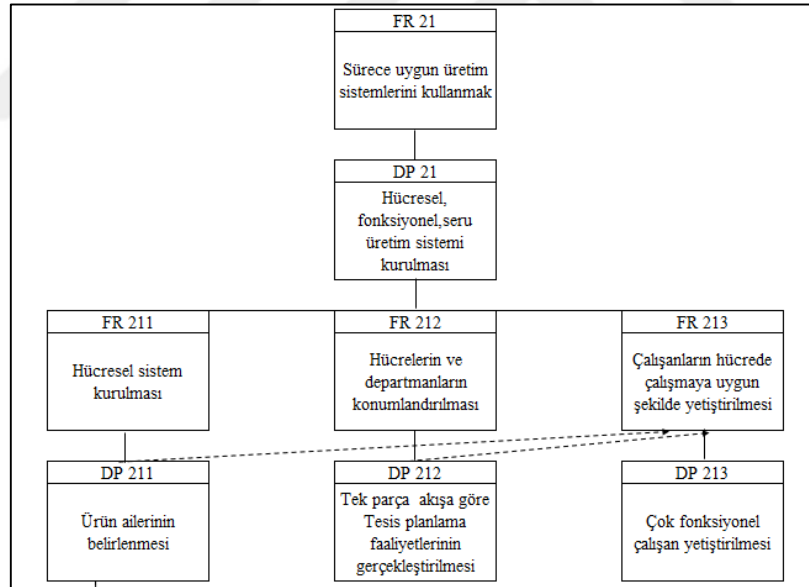
DP 212 = Tek parça akışa göre Tesis planlama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi

FR 213 = Çalışanların hücrede çalışmaya uygun şekilde yetiştirilmesi

DP 213 = Çok fonksiyonel çalışan yetiştirilmesi

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.3)'te tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR211 \\ FR212 \\ FR213 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP211 \\ DP212 \\ DP213 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$



Şekil 7. FR21'in ayrıştırılması

Hücresel Sistem Kurulması

Sürece uygun üretim sistemi belirlendikten sonra hücresel sistem kurulur. Hücresel sistem kurmak için ürün aileleri belirlenir ve bu doğrultuda hücreler ayrılır. İşlem adımları aynı olan ürünler bir ürün ailesi oluşturur ve bir hücreye ataması yapılır. Oluşturulan hücrelerin

tesis için konumları belirlenir ve çalışan ataması yapılır. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

FR 2111 = Makine işlem sürelerinin belirlenmesi.

DP 2111 = Kronometraj

FR 2112 = Ürün gruplarının oluşturulması.

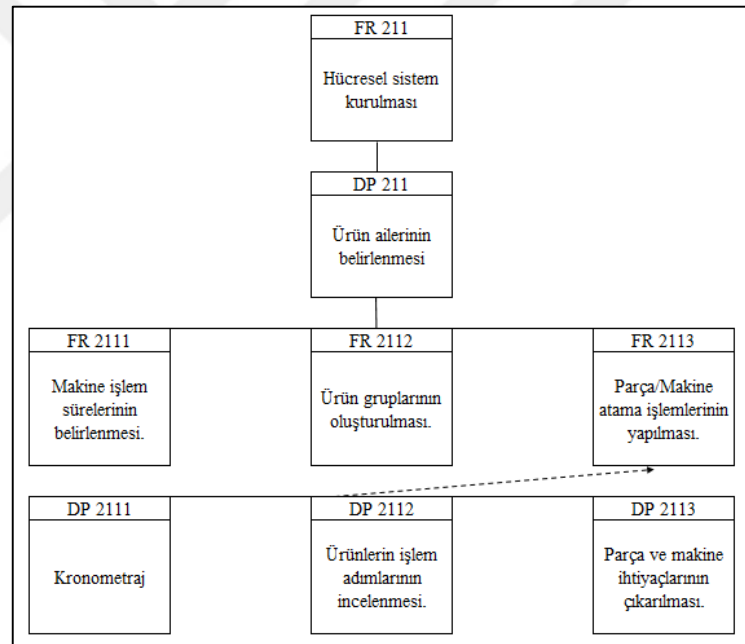
DP 2112 = Ürünlerin işlem adımlarının incelenmesi.

FR 2113 = Parça/Makine atama işlemlerinin yapılması.

DP 2113 = Parça ve makine ihtiyaçlarının çıkarılması.

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.4)'te tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR2111 \\ FR2112 \\ FR2113 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ & X & \\ & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP2111 \\ DP2112 \\ DP2113 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$



Şekil 8. FR211'in Ayrıştırılması

Parça/Makine Atama İşlemlerinin Yapılması

Ürün aileleri belirlendikten sonra hücre içi düzenlemeler yapılmalıdır. Bunlar tezgâhların çevrim sürelerinin, hazırlık sürelerinin belirlenmesi firmaya özgü olarak grupların belirlenmesi ve parça/makine işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Atama yapılırken gerekli tezgâh sayısı belirlenmeli ve hücrelerin esnek olarak tasarlanmalıdır. Tesis içinde

bilgi akışını sağlamak için gerekli yöntemler kullanılmalıdır. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

FR 21131 = Gerekli makinelerin belirlenmesi

DP 21131 = Uzman kişi ile görüşme

FR 21132 = Gerekli makine sayısının belirlenmesi

DP 21132 = İş etüdü çalışması

FR 21133 = Hücre esnekliğinin sağlanması

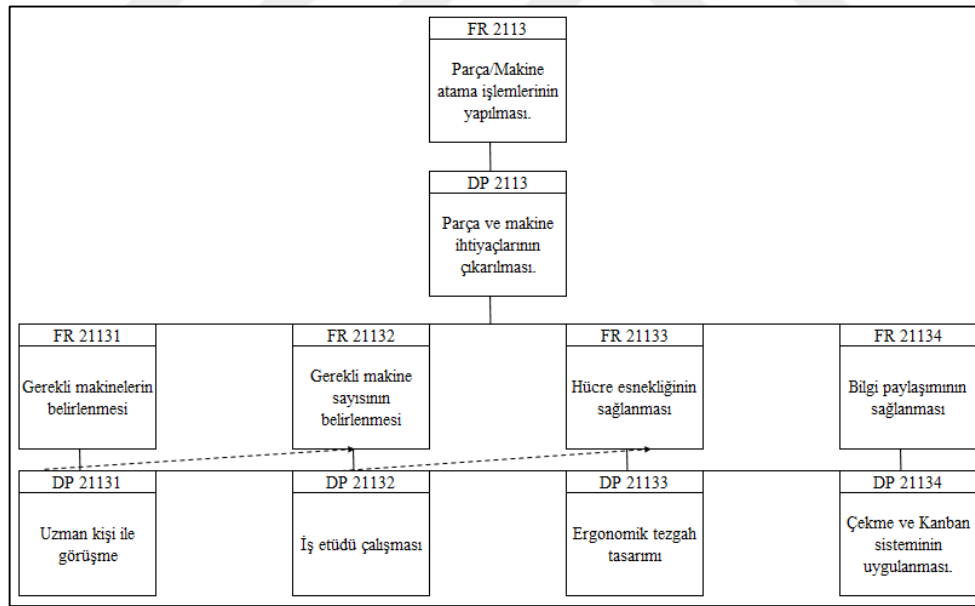
DP 21133 = Ergonomik tezgâh tasarımı

FR 21134 = Tesis içi bilgi akışının sağlanması

DP 21134 = Çekme ve Kanban sisteminin uygulanması.

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.5)'te tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR21131 \\ FR21132 \\ FR21133 \\ FR21134 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & \\ X & X & & \\ & X & X & \\ & & & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP21131 \\ DP21132 \\ DP21133 \\ DP21134 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$



Şekil 9. FR2113'ün ayrıştırılması

Bilgi Paylaşımının Sağlanması

Parça ve makine ihtiyaçlarını çıkardıktan sonrasında uzman kişilerle görüşülüp, gerekli ölçümler yapıp ona göre bir tasarım yaptıktan sonrasında bilgi akışını sağlamak gereklidir.

Bu akışı sağlamak için kanban tekniği kullanılacaktır. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

FR 211341 = Kanban kurallarının tanımlanması

DP 211341 = Standart iş prosedürlerinin oluşturulması.

FR 211342 = Kanban planlamasının yapılması

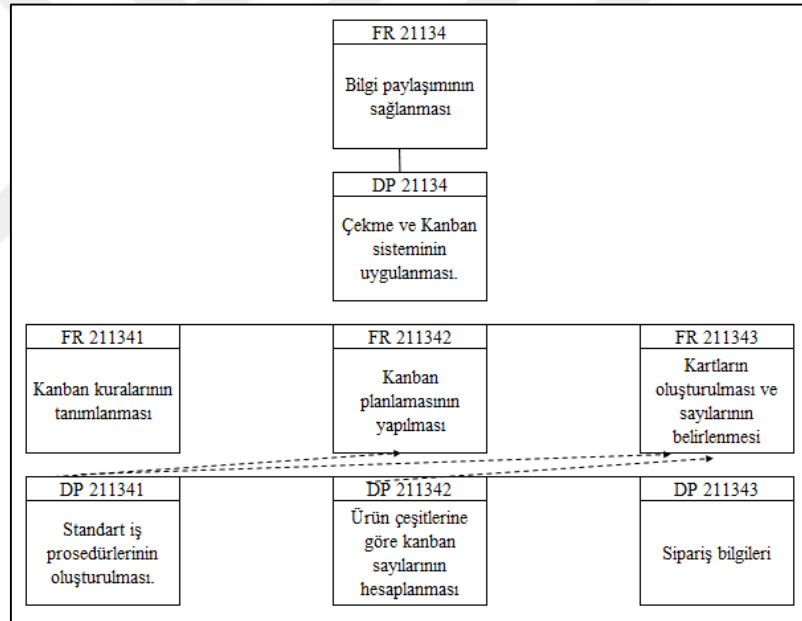
DP 211342 = Ürün çeşitlerine göre kanban sayılarının hesaplanması

FR 211343 = Kartların oluşturulması ve sayılarının belirlenmesi

DP 211343 = Sipariş bilgileri

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.6)'da tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR211341 \\ FR211342 \\ FR211343 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP211341 \\ DP211342 \\ DP211343 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$



Şekil 10. FR21134'ün ayrıştırılması

DDMRP Planlama Programı Kurulması

Sürece uygun üretim sistemini tasarlayıp tesis kurulumunu yaptıktan sonra dijital ortamda da uyumun sağlanması ve takip edilmesi için çalışmalar yapmak gerekmektedir. Bu çalışmalar talep odaklı müşteri odaklı olmalıdır. DDMRP(Veri yönetimli malzeme ihtiyaç planlaması) planlama bize firma için müşteri odaklı talebe dayalı bir MRP sistemi tasarlamak için geliştirilmiştir. Bir çekme sistemi olduğundan dolayı yalın dönüşüm

projelerinde geleneksel MRP yerini müşteri odaklı bir sistem olarak yerini almıştır. Bu program sayesinde firma envanter planlaması, talebe dayalı sistem ve görsel yürütme işlevlerini kullanabilecektir. DDMRP, "pozisyon, koruma ve çekme" olarak tanımlanabilecek bir metodoloji etrafında yapılandırılmıştır. Bu sistemi tasarlarken aşağıdaki aksiyomlar ile ilerlememiz gerekmektedir. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

FR 221 = Stok düzeylerinin belirlenmesi

DP 221 = Kanban yönetimli sipariş sisteminin kurulması

FR 222 = Hammadde termin süresinin kısaltılması

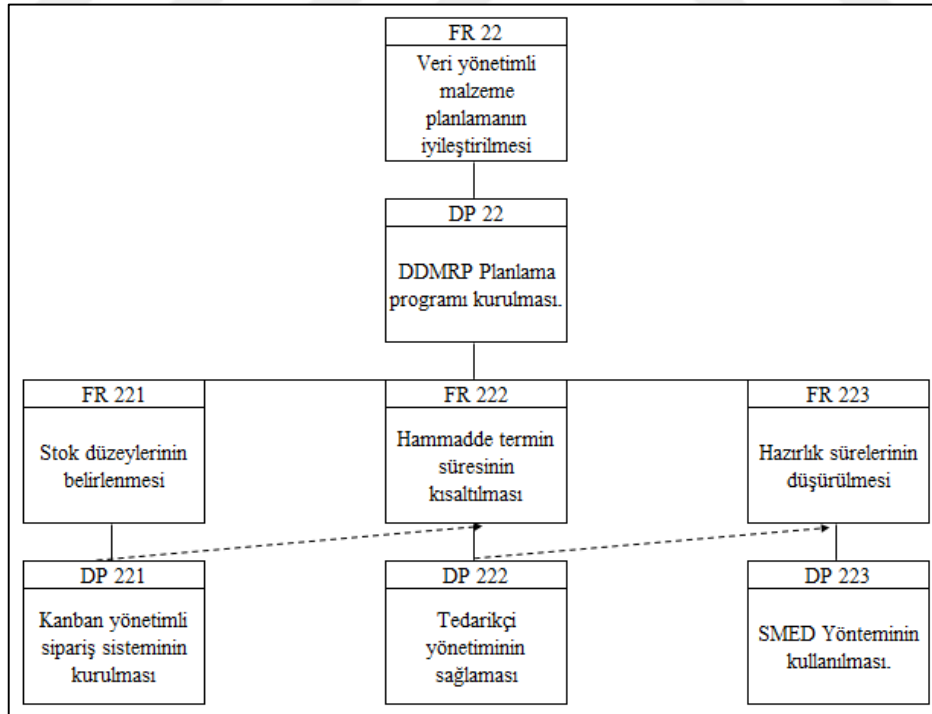
DP 222 = Tedarikçi yönetiminin sağlanması

FR 223 = Hazırlık sürelerinin düşürülmesi

DP 223 = SMED Yönteminin kullanılması.

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.7)'de tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR221 \\ FR222 \\ FR223 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP221 \\ DP222 \\ DP223 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$



Şekil 11. FR22'in ayrıştırılması

Stok düzeylerinin belirlenmesi

Malzeme planının iyileştirilmesi için en önemli adımlardan biri hammadde yönetiminin düzenlenmesi gerekmektedir. Mevcut stok düzeyleri ve olması gereken stok miktarları belirlenip buna göre bir stok planlama yapılması gerekmektedir. Stok düzeylerinin belirlenmesi için kanban yönetimli sistem geliştirilerek bilgi akışı sağlanabilir ve stok planlaması yapılabilir. Stok alanları düzenlenir, miktarları belirlenir ve planlama bölümünün yürüttüğü malzeme planlaması aşamaları iyileştirilirse bu aksiyom sağlanmış olacaktır. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

FR 4211 = Stok düzeylerinin belirlenmesi

DP 4211 = Kanban yönetimli sipariş sisteminin kurulması

FR 4212 = Hammadde termin süresinin kısaltılması

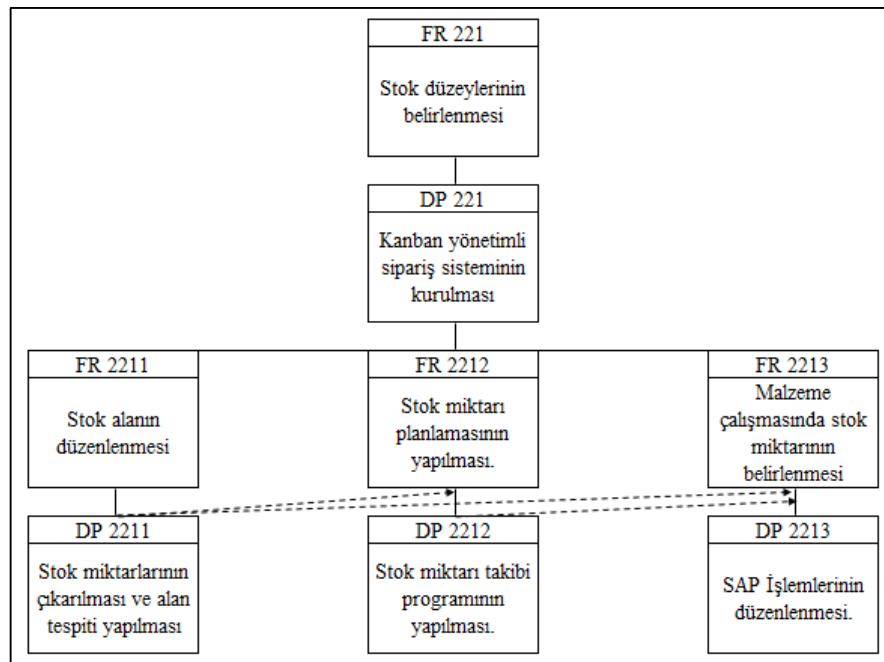
DP 4212 = Tedarikçi yönetiminin sağlanması

FR 4213 = Hazırlık sürelerinin düşürülmesi

DP 4213 = SMED Yönteminin kullanılması

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.8)'de tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR2211 \\ FR2212 \\ FR2213 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP2211 \\ DP2212 \\ DP2213 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$



Şekil 12. FR221'in ayrıştırılması

Stok Alanın Düzenlenmesi

Stok alanının düzenlenmesi için stok miktarlarının çıkarılması ve alan tespiti yapılması gerekmektedir. Saha düzenlenerek görsel yönetime uygun hale getirilmeli ve hata önleyici düzenekler kurulmalıdır. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

FR 22111 = Stok sahası düzenlemelerinin yapılması

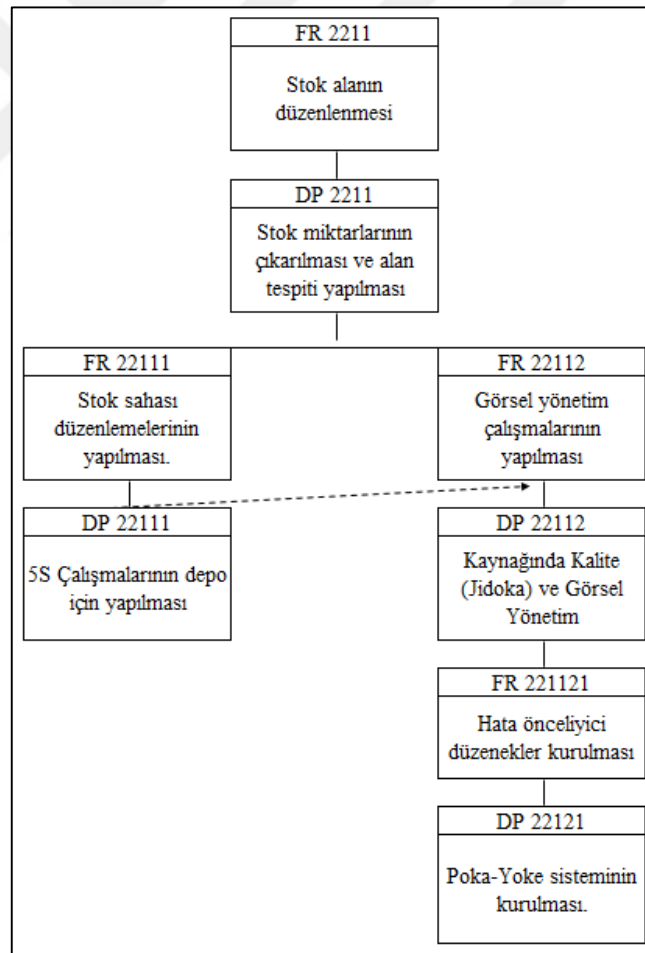
DP 22111 = 5S Çalışmalarının depo için yapılması

FR 22112 = Görsel yönetim çalışmalarının yapılması

DP 22112 = Yerde Kalite (Jidoka) ve Görsel Yönetim

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.9)'da tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR22111 \\ FR22112 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP22111 \\ DP22112 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$



Şekil 13. FR2211'in ayrıştırılması

Görsel yönetim çalışmalarının devamı için aşağıdaki tasarım parametreleri oluşturulmuştur.

FR 221121 = Hata önleyici düzenekler kurulması

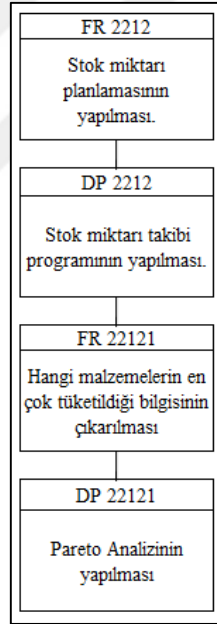
DP 221121 = Poka-Yoke sisteminin kurulması

Stok Miktarı Planlamasının Yapılması

Stok miktarının belirlenmesi için en çok hangi malzemenin kullanıldığı analiz edilerek buna göre planlama yapılmalıdır. Kullanılmayacak malzemelerden fazla sipariş verilmesi veya planlama bölümünün buna göre çalışması mudalara sebep olmaktadır. Bu sebeple pareto analizi(ABC analizi) yapılarak hangi malzemeden ne kadar kullanıldığı ve talep durumuna göre ne kadar kullanılacağı analiz edilmelidir. Bu aksiyyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

FR 22121 = Hangi malzemelerin en çok tüketildiği bilgisinin çıkarılması

DP 22121 = Pareto Analizinin yapılması



Şekil 14. FR2212'nin ayrıştırılması

Ekipmanların Güvenilirlik Oranlarının Arttırılması

Ekipman güvenliğini sağlamak için TPM faaliyetleri gerçekleştirilecektir. Buna bağlı olarak ekipman kullanılabilirliğini arttırmak, hataya anında müdahale edilecek faaliyetler gerçekleştirilmeli ve performans göstergeleri belirlenerek kontrol sağlanmalıdır. Bu

aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

FR 231 = Ekipmanların kullanılabilirliğini arttırmak

DP 231 = Bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi

FR 232 = Hataya anında müdahale edilebilmesi

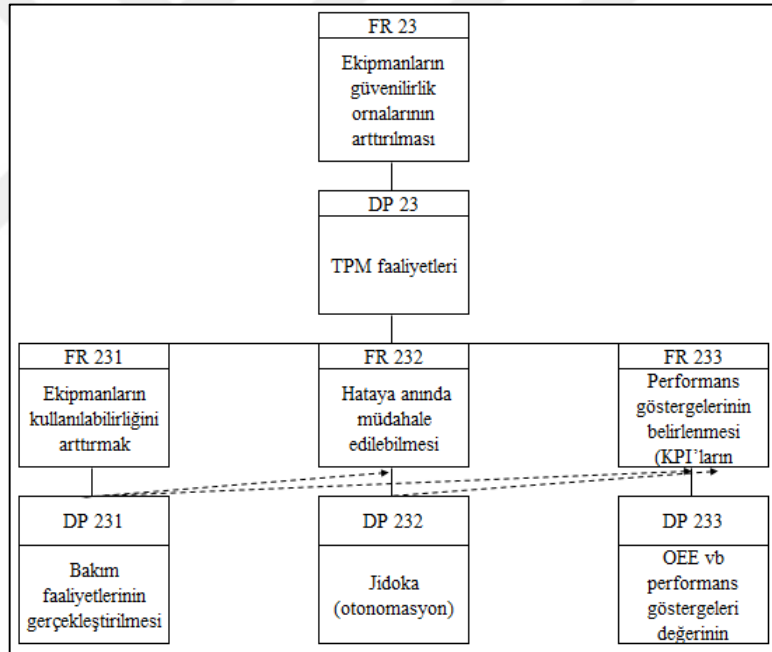
DP 232 = Jidoka (otonomasyon)

FR 233 = Performans göstergelerinin belirlenmesi (KPI'ların saptanması)

DP 233 = OEE performans göstergeleri değerinin hesaplanması

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.10)'da tasarım matrisinde gösterilebilir:

$$\begin{bmatrix} FR231 \\ FR232 \\ FR233 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP231 \\ DP232 \\ DP233 \end{bmatrix} \quad (5.10)$$



Şekil 15. FR23'ün ayrıştırılması

Ekipmanların Kullanılabilirliğini Arttırmak

Ekipmanların kullanılabilirliğini arttırmak amacıyla öncelikle çalışanın bilgilendirilmesi ve yetkinliklerinin arttırılması gerekmektedir. İyileştirme çalışmalarının süreç başında yapılması ve olası sorunları önleyebilecek bakım faaliyetleri gerçekleştirilmelidir. Bu aksiyomun gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

FR 2311 = Bakım personelinin bilgilendirilmesi

DP 2311 = Personel eğitiminin verilmesi

FR 2312 = Operatörün yetkinliğinin artırılması

DP 2312 = Otonom bakım

FR 2313 = Ön iyileştirmelerin yapılması

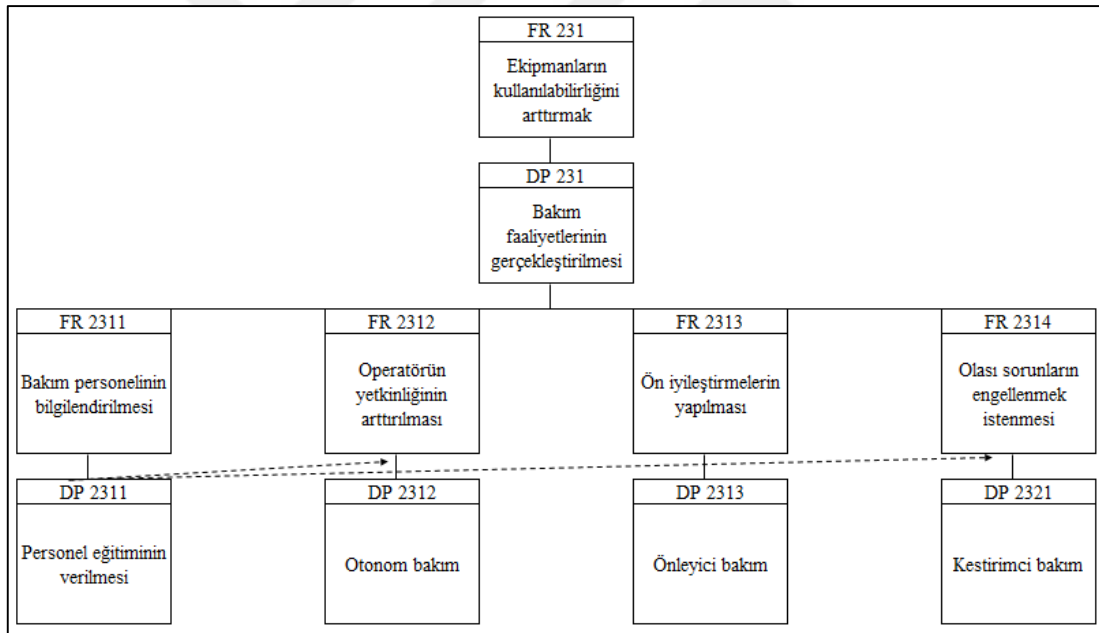
DP 2313 = Önleyici bakım

FR 2313 = Olası sorunların engellenmek istenmesi

DP 2314 = Kestirimci bakım

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.11)'de tasarım matrisinde gösterilebilir:

$$\begin{bmatrix} FR2311 \\ FR2312 \\ FR2313 \\ FR2314 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & \\ X & X & & \\ & & X & \\ X & & & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP2311 \\ DP2312 \\ DP2313 \\ DP2314 \end{bmatrix} \quad (5.11)$$



Şekil 16. FR231'in ayrıştırılması

Hataya Anında Müdahale Edilebilmesi

Süreçteki hatalara anında müdahale edilebilmesi için hata önleme sistemi oluşturulmalıdır. Görsel yönetim ile bunun sürekliliği sağlanmalı ve hata durumundaki harita çıkarılmalıdır. İşlerin standartlaştırılması hatayı en aza indirmek için etkili bir yöntemdir ve bunun için tek nokta eğitimleri verilerek çalışanın işini standartlaştırmış oluruz. Bu aksiyomun

gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

FR 2321 = Hata önlenme sistemlerinin oluşturulması

DP 2321 = Poke-Yoke

FR 2322 = Görsel kontrol sağlanması

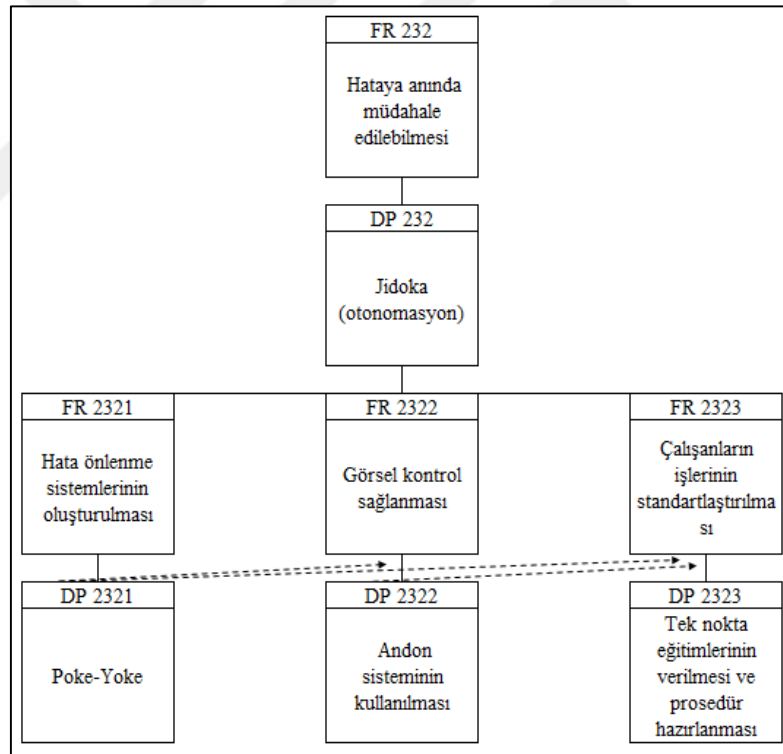
DP 2322 = Andon sisteminin kullanılması

FR 2323 = Çalışanların işlerinin standartlaştırılması

DP 2323 = Tek nokta eğitimlerinin verilmesi ve prosedür hazırlanması

Elde edilen ayrılmış tasarım (5.11)'de tasarım matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR2321 \\ FR2322 \\ FR2323 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP2321 \\ DP2322 \\ DP2323 \end{bmatrix} \quad (5.11)$$



Şekil 17. FR232'nin ayrıştırılması

Standartların Belirlendiği Bir Üretim Ortamı Sağlanması

Yalın dönüşüm çalışmasına mevcut durum analizinden sonra hızlı ve etkin çözümlerin görülebilmesi için 5S çalışması ile devam edilir. Bu çalışma ile firmada gözle görülür değişimler yapılacaktır ve yalın felsefesinin oluşmasında yardımcı olacaktır. Bu aksiyomun

gerçekleşmesi için fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

FR 31 = Sınıflandırma

DP 31 = Kırmızı etiket uygulaması

FR 32 = Düzenleme

DP 32 = Yer belirlenme çalışması

FR 33 = Temizlik

DP 33 = Sınırların belirlenmesi

FR 34 = Standartlaştırma

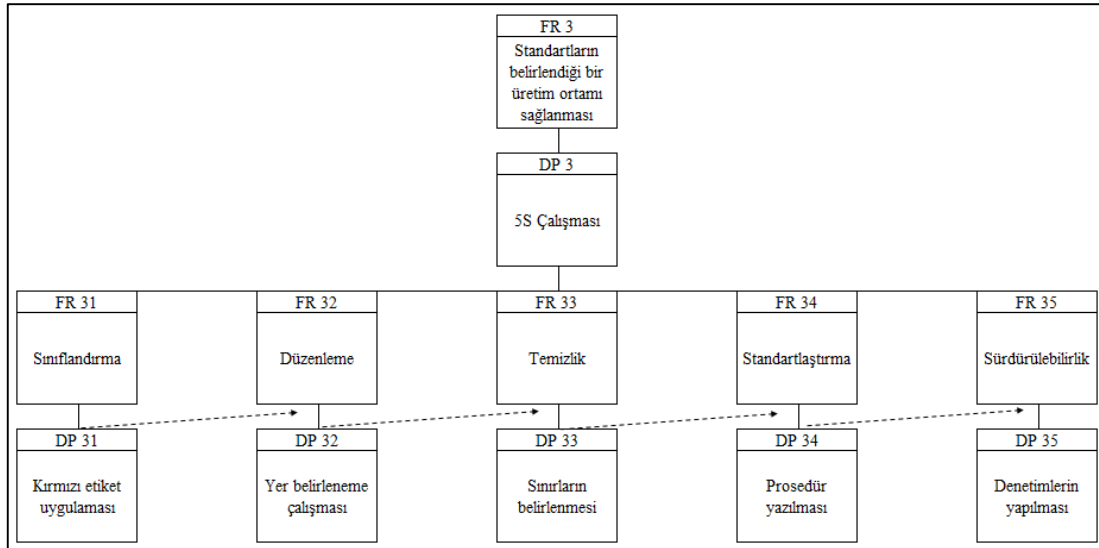
DP 34 = Prosedür yazılması

FR 35 = Sürdürülebilirlik

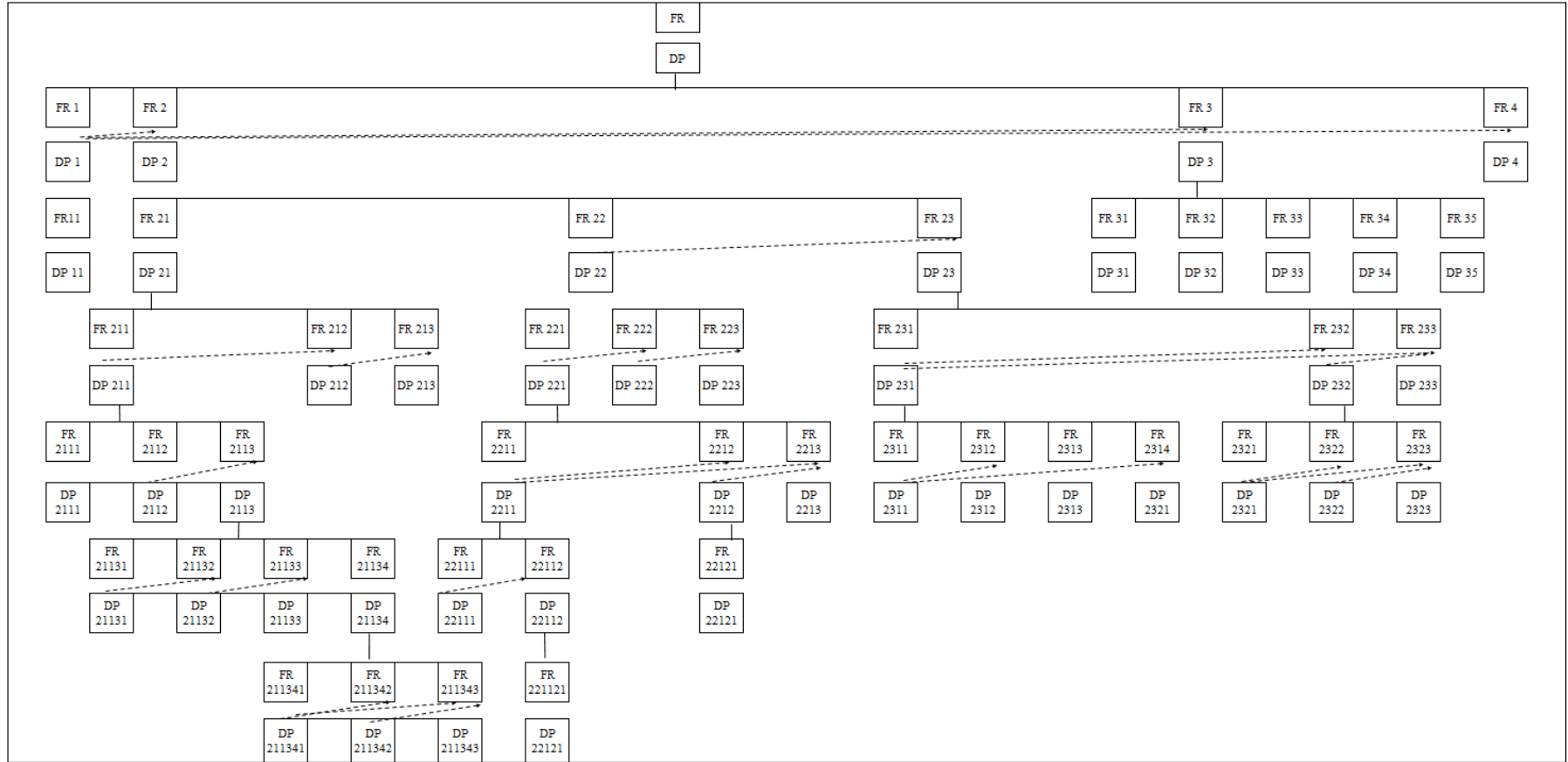
DP 35 = Denetimlerin yapılması

Elde edilen ayrılmış tasarım aşağıdaki tasarım matrisinde gösterilebilir:

$$\begin{bmatrix} FR31 \\ FR32 \\ FR33 \\ FR34 \\ FR35 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & \\ X & X & & & \\ & X & X & & \\ & & X & X & \\ & & & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP31 \\ DP32 \\ DP33 \\ DP34 \\ DP35 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$



Şekil 18. FR3'ün ayrıştırılması



Şekil 19. Yalın üretim sisteminin AD ile tasarımın ayrıştırılması

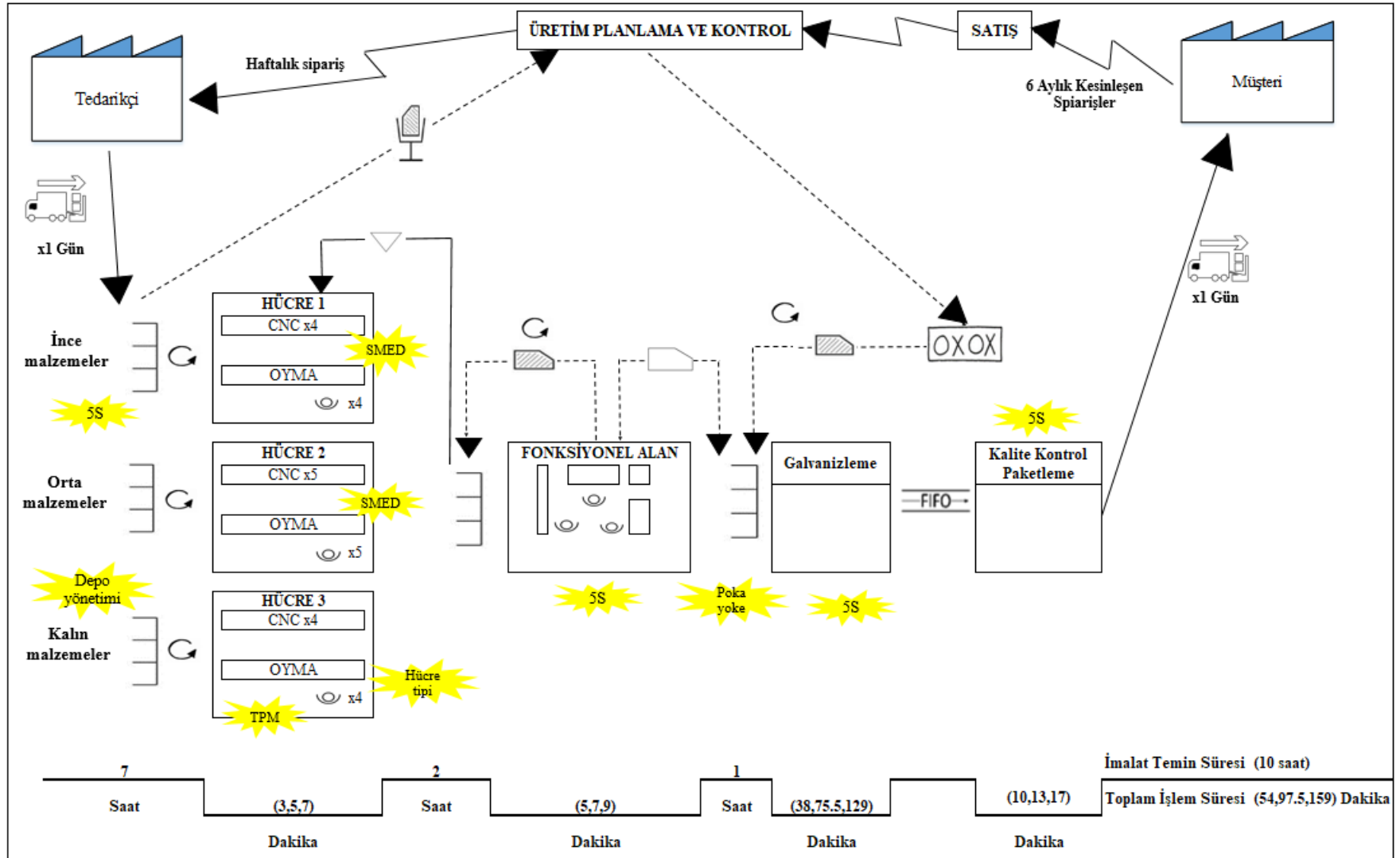
5.4. Gelecek Durum Haritası

Gelecek durum haritası ile hedeflenen sistem tasarımı yapılmış ve süreleri bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. İşlem süreleri hesaplamaları tablo 5'te yer almaktadır. Ek-3'te hazırlık süreleri, stok adetleri ve stok süreleri bilgileri verilmiştir. İşlem süreleri için bir yıllık veriler kullanılmış olup en yüksek değer olan c için bir yılda yapılan en yüksek işlem süresi, b medyan için en çok tekrar eden işlem süresi ve a minimum değer için en az süren işlem süresi ele alınmıştır. Metodoloji bölümünde yer alan bilgilere göre bulanık sayılar durulaştırma işlemi yapılmıştır.

Tablo 5. Gelecek durum işlem süreleri

İşlem	Bulanık sayılar			Durulaştırılmış değer
	a (min)	b (medyan)	c (max)	
Kesme / Markalama / Delme	3.0	5.0	7.0	5.0
Oyma	3.0	4.0	6.0	4.3
Yağ Alma	1.0	2.0	5.0	2.7
Asit	30.0	60.0	99.0	63.0
Su	1.0	1.5	5.0	2.5
Flaks	1.5	2.0	3.0	2.2
Kurutma	0.5	1.0	2.0	1.2
Galvanizleme	3.0	7.0	10.0	6.7
Soğutma	1.0	2.0	5.0	2.7
Galvanizleme	38.0	75.5	129.0	80.8
Paketleme	8.0	10.0	12.0	10.0
Kalite Kontrol Paketleme	2.0	3.0	5.0	3.3

Şekil 20'de verilen gelecek durum haritası ile mevcut durumda durulaştırılmış değeri 25 gün olan imalat temin süresi 10 saate düşürmek hedeflenmiştir.



Şekil 20. Gelecek durum haritası

Hammadde depo alanı çekmeyi besleyecek şekilde oluşturulup depo yönetimi, istif alanlarının düzeni ve 5S çalışmaları önerilmiştir. Gelecek durum haritasında çekme müşteri siparişiyle başlayacak şekilde kurgulanmıştır. Kaizenler arasında hücre tipi, depo yönetimi, SMED, TPM, Poka-yoke ve 5S çalışmaları haritada uygulanacak alanlara işaretlenmiştir. Heijunka kutusu çekme kanbanları sayesinde malzemeleri gruplara göre ayırıp galvanizleme işlemine alınması ve ihtiyaçtan fazla malzeme galvanizlenmemesi için planlanmıştır. Fonksiyonel alan süpermarketten gelen malzemeleri eğer var ise üçüncü operasyonu yapar. Sinyal kanbanı ile hücre ve fonksiyonel alandaki malzemeler kontrol edilir. Ara stok durumu bilgisi hücrelere aktarılır. Hücreler kanban ile tetiklenir. Hammadde depodan ihtiyacı kadar malzeme çekilir ve satın alma siparişi de buna göre verilir. Önerilen gelecek durum haritasındaki veriler hedeflenen verileri göstermektedir. Firma süreç iyileştirme çalışmalarına başlamış olup hedeflenen değerlere ulaşmaya çalışmaktadır. Hedeflenen imalat termin süresi 10 saat, toplam işlem süresi ise 103.5 dakikadır.

5.5. Matematiksel Model

Bu bölümde önerilen matematiksel model ele alınacaktır. Uygulama aşağıdaki kriterlere göre ele alınmıştır. Matematiksel model aşağıdaki varsayımlara göre oluşturulmuştur.

Varsayımlar

- Tüm çalışanların tüm işlerdeki performansı ve yeteneği aynı olmak zorunda değildir.
- Sistemdeki hücre sayısı değiştirilemez.
- Her hücre ayrı bir ürün ailesine tahsis edilmiştir.(Görevlerin yapılacağı hücreler bellidir.)
- Her görev bir kişi tarafından yapılmaktadır.
- Bu çalışma kapsamında iş yükü dengesizliğinin çözümü için aşağıdaki model önerilmiştir.

İndisler ve Kümeler

i : İşçi indisi $i \in I \quad i = 1, \dots, I$

j : Görev indisi $j \in J \quad j = 1, \dots, J$

k : Hücre indisi $k \in K \quad k = 1, \dots, K$

I : İşçi kümesi

J : Görev kümesi

K : Hücre kümesi

Parametreler

T_{ij} : i personelinin j görevini yapma süresi

W_i : i personelinin maksimum çalışma süre kapasitesi

P_j : j görevi için gerekli personel sayısı

ajk : j görevinin yapıldığı k hücresi

Değişkenler

S_i : i çalışanın toplam süre

Karar Değişkenleri

$X_{ijk} \in \{0,1\}$: Eğer i işçisi j görevini k hücresinde gerçekleştirilirse 1, dd. 0

$Y_{ik} \in \{0,1\}$: Eğer i işçisi k hücresine atanmışsa 1, dd. 0

Matematiksel Model

Amaç Fonksiyonu

$$\min Z \quad (5.13)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^K Y_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (5.14)$$

$$x_{ijk} \leq Y_{ik} \quad \forall i, j, k \quad (5.15)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ijk} \geq Y_{ik} \quad \forall i, k \quad (5.16)$$

$$a_{jk} \geq x_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (5.17)$$

$$\sum_i \sum_k x_{ijk} = P_j \quad \forall j \quad (5.18)$$

$$\sum_j \sum_k T_{ij} * x_{ijk} = S_i \quad \forall i \quad (5.19)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_{ik} \leq |I| \quad \forall k \quad (5.20)$$

$$S_i \leq W_i \quad \forall i \quad (5.21)$$

$$S_i \leq Z \quad \forall i \quad (5.22)$$

Matematiksel modelde yer alan kısıt (5.14) i işçisini en fazla bir hücreye atayarak hücreler arasında dolaşımı engellemek için oluşturulmuştur. Böylece her çalışan tek bir hücreye atanacaktır. Kısıt (5.15) i işçisi k hücresinde atanmışsa o hücrede herhangi bir işe atanabilir. Kısıt (5.16) bir işçi bir hücreye atandıysa o işçiye o hücrede en az bir görevde atansın amacını ifade etmektedir. Bu sayede hücreye atanan işçiye görev ataması da yapılmaktadır. Kısıt (5.17) bir görev hangi hücrede yapılabiliriyorsa o göreve o hücrede işçi ataması yapılabilirliğini ifade etmektedir. Kısıt (5.18) parametre olarak verilen j görevinde gerekli işçi sayısında değişiklik yapılabilir. Bu problemde 1 olarak alınmıştır. Bu modelde i işçisi j görevine k hücresinde atanacak ise 1 kişi atanabilir şeklinde ifade edilir. Genellemek gerekirse her göreve ihtiyacı kadar kişi atanabilir. Kısıt (5.19) i işçisinin j görevini yapma süresi bellidir, atanan hücrelerde toplam süreleri hesaplanarak işçilerin toplam işlem sürelerini göstermek için oluşturulmuştur. Her işçinin atanan süreleri toplanarak toplam iş yükleri ifade edilir. Kısıt (5.20) modelin farklı parametrelere göre optimum sonucu için kullanılmak üzere eklenmiştir. Bu kısıt işçi sayısında değişiklik yapılarak amaç fonksiyonu değerlerinin bulunmasında kullanılmıştır. Hücrelere atanan toplam işçi sayısının belli bir değerden küçük veya eşit olabileceğini ifade etmektedir. Kısıt (5.21) işçinin çalıştığı toplam sürenin parametre olarak belirlenen değerden büyük olamayacağını göstermektedir. Kısıt (5.22) çalışan iş yükü dengesizliğini minimize etmek amacıyla amaç fonksiyonunu yönlendirmesi için oluşturulmuştur. En çok çalışan işçinin süresini azaltarak iş yükü dengesizliğini düzenlemeyi ifade etmektedir. Amaç fonksiyonu ise kısıt (5.13) ile

dengelenen değerin minimize edilmesini amaçlamaktadır. Böylece işçiler arasındaki iş yükü dengesizliği minimize edilecektir. Önerilen model GAMS programında çözülmüştür. Bu uygulamada amacımız çalışanlar arasındaki iş yükü dengesizliği minimize edecek şekilde işçileri görevlere atamaktır, program sonucuna göre kısıt (5.20) değiştirerek bulunan sonuçların karşılaştırması yapılabilmektedir. İşçi sayısı 6 alınarak çalışan modelin atandıkları hücreler ve görevler tablo 6’da verilmiştir. Parametreler $P(j) = 1$ alınmıştır, $W(i) = 420$ alınmıştır.

Tablo 6. GAMS program çıktısı

i,j	1	2	3	Si
1.14			1	
1.15			1	398
5.16			1	190
8.12			1	
8.13			1	380
10.5		1		
10.10		1		374
10.11		1		
12.1	1			
12.2	1			
12.3	1			388
12.4	1			
12.6	1			
16.7		1		
16.8		1		363
16.9		1		

Tablo 7 ‘de kısıt (5.20)’da yer alan işçi sayılarına göre karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir.

Tablo 7. GAMS sonuç analizi

i	W _i	I ≤ 17	I ≤ 16	I ≤ 15	I ≤ 14	I ≤ 13	I ≤ 12	I ≤ 11	I ≤ 10	I ≤ 9	I ≤ 8	I ≤ 7	I ≤ 6
		S _i	S _i	S _i	S _i	S _i	S _i	S _i	S _i	S _i	S _i	S _i	S _i
1	420	192	192	192	192	192	192	192	206	192	192	192	398
2	420	200	200	200	200	200	200	200	208	200	353		
3	420	196	189	189	189	160	170	196			214		
4	420		71	71	71	154			218				
5	420	155	190	190	190	190	190	163	182	190	190	190	190
6	420	196	196	196	196	196	196	196	217	196	218	196	
7	420					112			226		348	348	
8	420	190	190	190	190	190	190	190	190	190		380	380
9	420	146				135					220		
10	420						177	195	216	285	360		374
11	420												
12	420	186	112	112	112	190	199	199		288		376	388
13	420		180	180	180					279			
14	420	148	132	132	132	70	148	194					
15	420	145	145	145	145		172	118	156				
16	420	123	183	183	183	148	198	183					363
17	420	151	157	157	157	128	133		222	233		320	
Toplam Çalışma Süresi		2028	2137	2137	2137	2065	2165	2026	2041	2053	2095	2002	2093
Atanan Çalışan Sayısı		12	13	13	13	13	12	11	10	9	8	7	6
Ortalama Çalışma Süresi		169.00	164.38	164.38	164.38	158.85	180.42	184.18	204.10	228.11	261.88	286.00	348.83
Amaç Fonksiyonu		200	200	200	200	200	200	200	226	288	360	380	398

GAMS programında yazılan matematiksel model Ek-4'te yer almaktadır. GAMS sonuçları kişi sayısındaki değişime göre atanan kişi sayıları ve sürelerinde değişiklik olduğunu göstermektedir. Bu problemde iki ana sonuç çıkarılabilir.

1. İşçi sayısını azaltarak görev sürelerini yükselterek bir çalışma planı oluşturmak.
2. İşçi sayısını kişi başı ortalama çalışma süresine göre temel alıp dengeli bir çalışma planı oluşturmak.

Gelecek durum haritasına göre sürekli bir iyileştirme söz konusudur. Bu göz önünde bulundurulur ise 10 çalışan ile dengeli bir çalışma modeli oluşturulabilir. Çalışma süresinde kalan zaman eğitim ve çalışanın gelişimi için kullanılabilir.

5.6. Süreç İyileştirme Çalışmaları

Süreç iyileştirme çalışmalarında öncelikle üst yönetimin desteği alınarak çalışanlarda bilinç oluşturulması ve yalın üretimin temel alındığı bir iyileştirme ortamının oluşturulması gerekmektedir. Bu anlayış takım oluşturma ve eğitim düzenlemeleri yapılarak çalışanlara değer katan sürelerinin arttırılması atıl zamanların minimize edilmesi ve süreç geliştirme çalışmalarına başlanması için ilk adım olarak başlanmalıdır.

Hücre Oluşturma: Makine gruplamaları yapılırken işlenen malzeme türlerine göre tablo 8'de ayırım yapılmıştır. Böylece gelecek durum haritasındaki ince, orta ve kalın malzeme grupları oluşturulmuştur.

Tablo 8. Gruplama analizi

Grup No	CNC Makineler	Malzeme Kalınlığı	İşlenen Malzeme Türü
1	M1,M2,M3,M4	14mm 'den büyük	Kalın, diğer profiller
2	M5,M6,M7,M8,M9	5mm - 13mm	Orta malzemeler
3	M10,M11,M12,M13	5mm'den küçük	İnce malzemeler

Birinci Operasyon: Enerji nakil hattı direği son ürününün oluşturulması için ilk öncelikli olarak CNC makinelerinde kesme-delme ve markalama işlemleri yapılmaktadır. Bu işlem adımı tek CNC makinesinde gerçekleştirilmiş olup bu operasyona birinci operasyon adı verilir. Tablo 9'da CNC makinelerine göre yıllık toplam üretimleri görünmektedir. Yüzdeye

bakıldığında en çok üretim yapan makine M9 ve M5 makineleridir. Tonaj olarak fazla üretim yapan bu makinelerin otonom bakım faaliyetlerinde iyileştirme yapılmalıdır.

Tablo 9. Birinci operasyon yüzdeleri

Makine	Yapılan İşlem	Toplam Üretim(Kg)	Yüzde
M9		39759509 Kg	%17.5
M5		36856739 Kg	%16.2
M6		19016158 Kg	%8.4
M8		17982137 Kg	%7.9
M7		17893234 Kg	%7.9
M2		15702102 Kg	%6.9
M1	Kesme / Markalama / Delme	15178175 Kg	%6.7
M3		14805635 Kg	%6.5
M4		13064496 Kg	%5.8
M13		12582548 Kg	%5.5
M11		8553119 Kg	%3.8
M10		8044890 Kg	%3.5
M12		7724944 Kg	%3.4

Beş yılda toplam 227164008.5 kg hammadde 13 CNC makinesinde işlenmiştir. 5 yılda en çok üretilen ürünleri bulmak için pareto analizi(ABC analizi) yapılmıştır. Verilere göre birincil operasyonda üretilen 468 çeşit ürün bulunmaktadır. Pareto analizi sonucunda 60 ürünün yüzde 80.41 ile çoğunlukla birincil operasyonlarda üretilmiştir. L60X60X5 ürünü, birincil operasyonlarda üretilen toplam ürünün %3.25'i ile birincil operasyonda en çok üretilen üründür. En çok kullanılan makine ise %18 ile M9 makinesidir. Üretilen toplam ürünlerin %17.5'i bu makine ile üretilmiştir.

İkinci Operasyon: Malzemeler kesim delim ve markalama işlemleri sonrasında projede yer alan bilgiye göre ikinci operasyon olarak adlandırılan aşağıdaki tablo gösterilen aşamalardan geçerler. Yıllık üretim miktarı olarak bakıldığında malzemeler birinci operasyondan sonra en çok oyma operasyonuna aktarılmıştır. Bu sebeple gelecek durum haritasında hücre

kurarken her gruba bir tane oyma işlemi eklenmiştir. Fonksiyonel alana ise diğer operasyonlar eklenmiştir. Bu operasyon miktarlarının az olması ve tek parça akışa uymaması sebebiyle fonksiyonel alan oluşturulmuştur. Süreçte ikinci operasyon olarak adlandırılan işlemlerin analizi tablo 10'da verilmiştir.

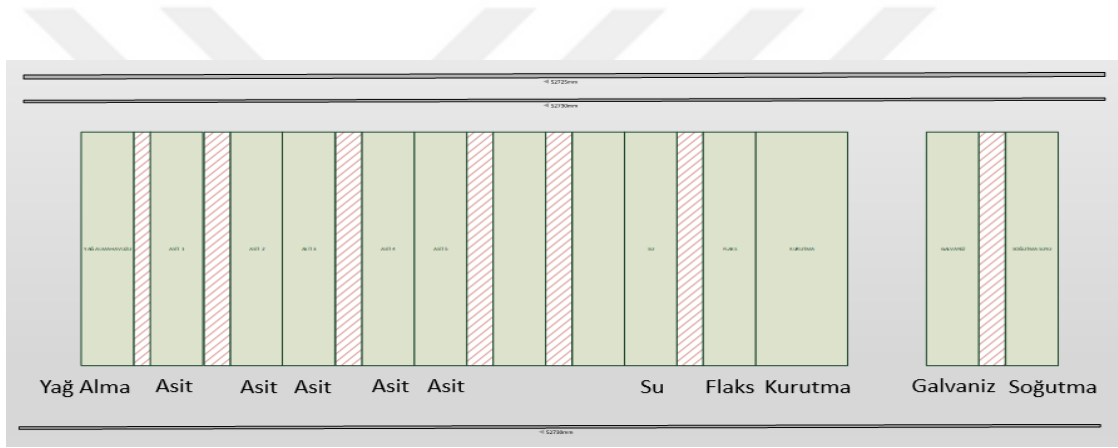
Tablo 10. İkinci operasyon yüzdeleri

Gösterim	Operasyon	Üretim Miktarı (Kg)	Yüzde
O1	Oyma	88636857 Kg	%73.70
O2	Sırt Taslama	10401244 Kg	%8.65
O3	Bükme	9398358 Kg	%7.81
O4	Yanak Açma	5926128 Kg	%4.93
O5	Yanak Kapama	3223691 Kg	%2.68
O6	Havşa Açma	1666952 Kg	%1.39
O7	İç Taşlama	495142 Kg	%0.41
O8	Yanak Kesme	392226 Kg	%0.33
O9	Rayba	130773 Kg	%0.11
O10	Ek Taşlama	151 Kg	%0,00

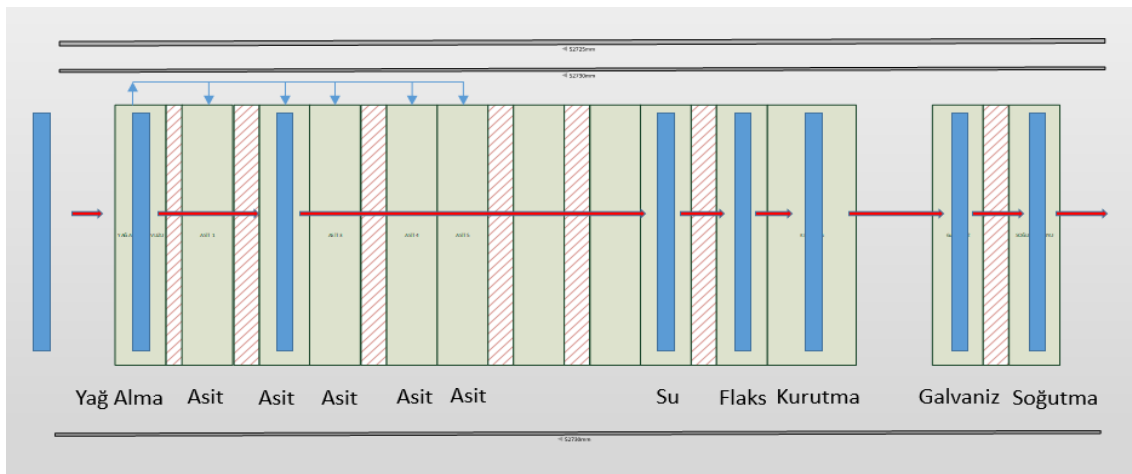
5 yılda toplam 120271527.7 kg ürün ikincil işlem makinelerinde işlenmiştir. Bu veriye göre birinci operasyonda üretilen toplam ürünlerin %53'ünün ikincil operasyonlara geçtiği anlamına gelmektedir. İkinci operasyonlarda en çok işlenen ürünleri bulmak için pareto analizi yapılmıştır. Fabrikada malzeme taşıma maliyetini azaltmak için makineler yerleştirmek için birincil ve ikincil işlemler arasında malzeme akışını bulunmalıdır buna göre hücre oluşturma kararı verilecektir. Bu akışları tespit etmek için ikincil operasyonlarda en çok hangi ürünlerin işlendiğini tespit etmek gerekmektedir. Verilere göre ikincil işlemlerde üretilen 386 çeşit ürün bulunmaktadır. Pareto analizi sonucunda 53 ürünün yüzde 80.48 ile çoğunlukla ikincil operasyonlarda işlenmiştir. L60X60X5 ürünü, ikincil operasyonlarda toplam işlenen ürünlerin %4.18'i ile ikincil operasyonda en çok işlenen üründür. Oyma operasyonunun ikincil operasyonların %73.7'si ile en çok yapılan ikincil operasyondur. Bu sebeple hücre oluşturulurken öncelikli olarak birinci operasyon makineleri ve her hücreye oyma makinesi atanmıştır. Üç hücreye birer adet oyma makinesi tahsis edilecektir. Fonksiyonel alanda ise bükme sırt taşlama, yanak kesme, yanak açma, yanak kapama, havşa açma, rayba, iç taşlama ve oyma işlemleri için makineler konulacaktır. Hücrelerde darboğaz yaşanması durumunda fonksiyonel alandaki oyma makinesi

kullanılabilir. Malzemelerin yüzde olarak en az miktarda işlem gördüğü diğer operasyonlar için ise fonksiyonel alan kullanılabilir. Böylece tek parça akış sağlanmaya çalışılarak sistemin atıl süre ve stok miktarları düşürülebilir.

İş Etüdü Çalışması: İş etüdü uygulaması için galvaniz bölümü seçilmiştir. Kafes üretim için ayrıca çalışma yapılacaktır. Ancak fabrika yoğunluğu ve sistem karışıklığı sebebiyle şimdilik kafes üretim aşaması değil hammadde işlendikten sonra galvanizleme işlemi ele alınarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Galvaniz Atölyesi yerleşimi, galvaniz operasyonlarını izleyecek şekilde (Yağ Alma – Asit – Su – Flaks – Kurutma – Galvaniz – Soğutma) aşağıdaki gibi konumlandırılmıştır. Havuzlar üzerindeki malzeme akışı, hat üzerinde bulunan vinçler yardımı ile yapılmaktadır. Tablo 11’de süreler dakika olarak alınmıştır.



Şekil 21. Galvaniz atölyesi yerleşimi



Şekil 22. Galvaniz atölyesi ürün akışı

İş akışına göre beş ölçüm alınarak tablo 11’de ölçüm zamanları hesaplanmıştır.

Tablo 11. Ölçülen zamanlar

İşlem No	İşlem	ÖZ-1	ÖZ-2	ÖZ-3	ÖZ-4	ÖZ-5
1	Malzemenin galvanize sevki	5	5	5	5	5
2	Hammaddelerin sala asılması	2	3	4	3	3
3	Yağ alma işleminin yapılması	10	10	10	10	10
4	Asit havuzuna daldırma işlemi	99	90	73	64	60
5	Suya daldırma işlemi	1	1	1	1	1
6	Flaks işlemi	2	2	2	2	2
7	Kurutma işlemi	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
8	Galvanizleme işlemi	306	273	254	212	204
9	Soğutma işlemi	1	1	1	1	1
10	Sallardan hammaddelerin çıkarılması	2	2	3	3	4
11	Kalite kontrol işleminin gerçekleştirilmesi	2	2	2	2	2
12	Paketleme	2	2	2	2	2
13	Depolama	3	3	3	3	3

- Tolerans(α) %15 olarak alınmıştır.
- Tempo takdiri %110 olarak hesaplanmıştır.

Standart Zaman hesabı için ölçülen değerler tempo ile çarpılarak Normal Zaman değerleri bulunur. Normal zaman değerlerinin, her aşama için ortalaması alınarak elde edilen Ortalama Temel Zamanlar ($1 + \alpha$) ile çarpılarak standart zaman hesaplanır. Normal ve standart zaman verileri tablo 12’de verilmiştir.

Her işçi yapması gereken her bir iş için teknik bilgiye ek olarak, ortamın aydınlığı, ısısı, ergonomik olarak duruşu, iş yaparken ayaktaysa eğer duruş pozisyonu, oturur halde ise kullanılacak olan sandalye çeşidi gibi bütün detayları işi birden fazla yapsa dahi her seferinde kitaptan kontrol edip uygulamak zorundadır. İşçinin o anki dalgınlığıyla galvanizde fazla ya da az beklemesi mümkün olabiliyor buda tekrar baştan asit havuzuna gitmesi ve tekrar aşamalardan geçmesine sebep oluyor. İşçiler öğle yemeklerini asit havuzuna göre ayarlıyor buda yine gecikmelere sebep olabiliyor. Süreleri not alan kişiyle butona basan kişi aynı

olduğundan bazı aksaklıklar görülebiliyor bunu ortadan kaldırmak için süreleri ölçen ayrıca bir çalışana ihtiyaç vardır.

Tablo 12. Normal ve standart zaman verileri

İşlem No	NZ-1	NZ-1	NZ-2	NZ-3	NZ-4	NZ-5	Ort TZ	SZ
1	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	6.325
2	2.2	2.2	3.3	4.4	3.3	3.3	3.3	3.795
3	11	11	11	11	11	11	11	12.65
4	108.9	108.9	99	80.3	70.4	66	84.92	97.66
5	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.265
6	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.53
7	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.633
8	336.6	336.6	300.3	279.4	233.2	224.4	274.8	316
9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.265
10	2.2	2.2	2.2	3.3	3.3	4.4	3.08	3.542
11	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.53
12	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.53
13	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.795

Kaizen Çalışmaları: Kaizen çalışmalarına başlarken ilgili bölümler ile görüşmeler yapıp kaizen ekipleri oluşturulmuştur. Her bölüm için bir sorumlu belirlenerek kaizen çalışmalarının sürekliliğini sağlamak amaçlanmıştır. İşlere sorumlu ve süre atanarak süreç başlatılmıştır. Ek 5'te yapılan proje planı ayrıntıları verilmiştir.

5S Çalışmaları: 5S Çalışmaları kapsamında kırmızı etiket ve risk değerlendirme çalışmaları yapılmıştır.

Kırmızı Etiket Uygulaması: Kırmızı etiket işletmelerde gerekli olan ile gereksiz olanı ayırt etmemizi sağlayan bir tekniktir. Gereksiz olan nesne belirlendiğinde üstüne kırmızı etiket asılarak önceden belirlenen karantina alanına alınır, ardından nesneler için ne yapılacağına kırmızı etiket takılacak nesne için şu soruları sormalıyız. Soruların cevabı hayır ise kırmızı etiket asılması gerekmektedir.

- İhtiyacımız var mı?
- Var ise, ne miktar ve sıklıkta?
- Var ise, ilgili yerde duruyor mu?

Risk Değerlendirme: İmalat sonrası oluşan çapakların temizlenmesi için taşlama operasyonu gerçekleştirilmektedir. Demir çapaklarının taşlama sırasında dışarıya sıçramaması için resimde görülen paravan kullanılmaktaydı.



Şekil 23. Paravan



Şekil 24. Yeni aparat

Atölye içerisine, taşlama operasyonu için hazırlanmış resimde görülen aparat, taşlamanın daha düzenli bir ortamda yapılmasına ve çevre görsel olarak bir düzenleme yapılmasına olanak sağlamıştır.

3 adet matkaplı CNC tezgâhlara ait dolapların içindeki matkaplar dağınık ve düzensiz bir şekilde bulunması, tezgâhta çalışan işçinin matkapları değiştirmek için aradığı matkabı bulmasını oldukça zor ve zaman alıcı hale getiriyordu. Bu problemin önüne geçildiği takdirde hem tezgâhların günlük çalışma süresi artacak hem de işçiler aradığı matkabı bulurken daha az enerji harcayacaklardı. Bunun için tezgâhlara ait tüm matkapların, matkap çaplarına göre bölümlere ayrılmış bir takım dolabında muhafaza edilmesi oldukça mantıklı bir çözüm olacaktır. Bu çözüm uygulamaya alınması ile yıllık 22210 ₺ tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 25. Önceden kullanılan takım dolaplarından biri



Şekil 26. Mevcut kullanılan kullanılmakta olan takım dolabı

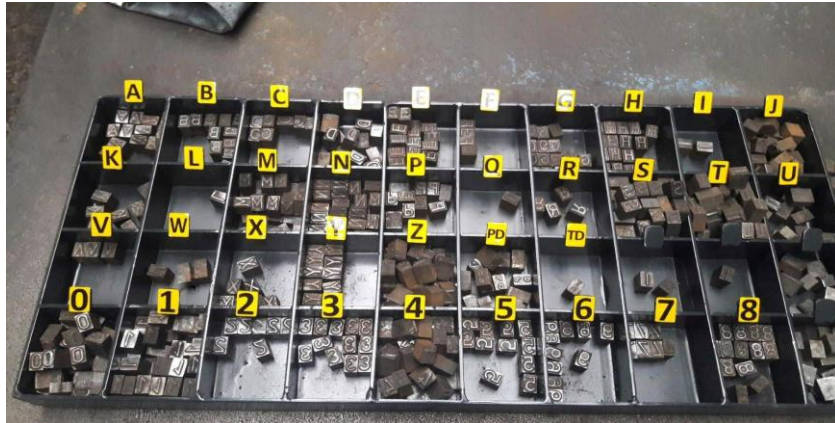
SMED Çalışmaları: SMED çalışması kapsamında öncelikle kalıp değişim süreleri ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda manuel işlemlerde geçen tezgâh numarator değişim süresinin uzun olduğu görülmüştür. (işlem süresi 3 dakika ise numarator değişim süresi 1 dakika olarak belirlenmiştir.)

Problem: Tezgâhlarda bulunan ve manuel işlem gerektiği zaman kullanılan numaralar karışık halde bulunmakta ve arama esnasında zaman kaybı meydana gelmekteydi.



Şekil 27. Mevcut numarator kutusu

Çözüm: Geniş bölmeli Numara tablaları yapılarak sorun ortadan kaldırılmıştır. Görsel yönetim sağlanarak harfler dikkat çekici şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 28. Önerilen numarator kutusu

TPM Çalışmaları: Çok genç bir oluşum olan TPM Ofisi henüz bakım planları oluşturulmamıştır. Ayrıca makine ve teçhizatlar da çok yeni olduğundan henüz arıza problemleri yaşanmamaktadır. Hazırlanacak bakım planlarında her çalışanın bir TPM grubu üyesi olduğu kabulü yapılmalıdır. Yapılan araştırmalara göre makinelerin çalışması esnasında en fazla zaman kaybına yol açan neden mikro duruşlardır. Bu nedenle çalışanlara verilecek basit bir çizelge ile duruşlara sebep olan nedenlerin pareto analizi çıkarılabilir ve bu nedenlerin ortadan kaldırılması için aksiyon planları hazırlanabilir. Yalın felsefe bunu batonaj yöntemi olarak adlandırmıştır. Bakım politikası üretilen ürünlerin, hatasız bir şekilde, istenen kalite seviyesinde, istenen sürede ve en ekonomik çevrim zamanları içinde, kayıpları minimuma indirerek, en düşük maliyetle müşterilere teslim edilmesine katkıda bulunmak olmalıdır. Tüm üretim ve destekleme ekipmanlarının bir koruyucu bakım planı oluşturulmalıdır ve bunların seviyeleri aşağıdaki gibi olmalıdır:

- Seviye 1 : Günlük bakımlar..... Operatör tarafından yürütülür.
- Seviye 2 : Haftalık bakımlar..... Operatör tarafından yürütülür.
- Seviye 3 : Aylık bakımlar..... Operatör tarafından yürütülür.
- Seviye 4 : 3 ve 6 aylık bakımlar..... Bakım ekibi tarafından yürütülür.
- Seviye 5 : 1 yıllık bakımlar..... Bakım ekibi tarafından yürütülür.

Bu uygulamada bir makinenin duruş analizleri yapılarak duruş nedenleri çıkarılmıştır. Her firmanın duruş çeşitleri farklı olmakta birlikte duruş nedenlerini gruplama türleri farklılık gösterebilir. Tablo 13'te duruş analiz nedenleri ve süreleri dakika cinsinden verilmiştir. Analiz M5 makinası için yapılmış olup diğer makinelerde de uygulamaya alınacaktır (M5 makinası orta kalınlıktaki malzemeleri işleyen tezgâhtır). 2022 yılında başlayan otonom bakım uygulamaları sonucunda bazı duruşlarda iyileşme görülmüştür. Oran sütununda (-) olan yüzdeler iyileşme yüzdelerini, (+) olanlar ise duruş artışlarını göstermektedir. Tablo 13'e göre bazı alanlarda iyileşme gerçekleşirken bazı duruşlarda artış meydana gelmiştir. Bu nedenle otonom çalışmalarına devam edilmeli ve duruşların kök nedeni bulunmalıdır.

Tablo 13. Arıza tipleri

Arıza Tipi	2021	2022	Oran
Baskı Arızası	1047.42	382.8	-63%
Zimba Arızası	807.18	110.22	-86%
Yağ Kaçağı	477.84	192.72	-60%
Şaryo Arızası	183.48	130.02	-29%
Yükleme Kolu Arızası	200.64	268.62	34%
Zimba Matris Ayarı	48.18	203.94	323%
Eksen Arızası	44.22	104.28	136%
Şaryo Kısaç Arızası	162.36		-100%
Switch Arızası	66.66	137.28	106%
Yükleme Konveyör Arızası	38.28	110.22	188%
Hidrolik Arızası	66		-100%
Makas Arızası	173.58	16.5	-90%
Çıkış Konveyör Arızası	50.16		-100%
Numaratör Arızası	71.28	72.6	2%
Tezgâh Çalışmıyor	48.84	66	35%
Veri Arızası	71.28		-100%
Çapak Konveyör Arızası	39.6		-100%
Referans Arızası	22.44		-100%
Pnömatik Arızası	38.94	43.56	12%
Piston Arızası	27.72		200%
X Eksen Arızası		88.44	100%
Bariyer Arızası		44.22	100%
Bıçak Arızası		43.56	100%
Ekran Arızası		33	100%
Köprü Arızası		11.22	100%
Bilgisayar Donanım Arızası		5.28	100%

*Arıza tiplerine göre süreler dakika cinsinden verilmiştir.

Endüstri 4.0: Gelişmiş ekonomilerin rekabet güçlerini korumak için sahip oldukları teknolojik kabiliyetleri, endüstriyel ürün ve altyapılara dönüştürmesini sağlayacak Endüstri 4.0 yaklaşımı, temel olarak bilişim teknolojileri ile endüstriyi bir araya getirmeyi hedefliyor. Endüstri 4.0 'ın temel bileşenlerinden biri belki de en önemlisi, ürünün hammadde olarak fabrikaya alınıp sevkiyatına kadar izlenebilirliğidir. Bu izlenebilirlik çeşitli sistemler üzerinden oluşturulan verilerle anlık olarak takip edilebilmektedir. 21.yüzyılın temel hammaddesinin veriler olduğu söylenebilir. Her türlü tesiste sonsuz sayıda veri üretilmekte, bu veriler ile birlikte gerçek dünya ve sanal dünya birbirine bağlanmaktadır. Şirketimizde de SAP sistemi üzerinden veri akışı ve izlenebilirlik sağlanmaktadır. Ancak veri girişleri

sisteme manuel olarak yapılmakta ve bu durum ara beklemelemlere, stoklara, gecikmelere, kalite problemlerine, arızalara, ürünün nerede olduğunun takip zorluğuna sebep olmaktadır. Endüstri 4.0 yaklaşımı tamamen otomasyon içinde, makinaların birbirleriyle ve personelle haberleşerek, üretimin tamamen makinalara ve sisteme bırakılmasıdır. Endüstri 4.0 a geçişte uyarlanabilecek alanlar gözden geçirilmesi sonrası hem emek yoğun hem de birçok açıdan değişkeni az olan operasyonlarımızdan *sırt taşıma* ön plana çıkmıştır. Malzeme kalınlığı dışında operasyonun hemen hemen değişmemesi sebebiyle sırt taşıma operasyonumuzun doğru bir başlangıç noktası olabileceği tespit edilmiştir. Mevcut sistemde son beş senenin ortalamasında yıllık 144 bin adet poz sırt taşlanarak tek tek operatör tarafından önce oksijenle sırtı alınmakta akabinde yine tek tek taşlanarak galvanize sevk edilmektedir. Yukarıda belirtilen hedef doğrultusunda alt hedefler belirlenmiştir.

- Maliyetlerinde uygun olması
- Düşük bir bütçeyle robotların kendi sektörümüzde kullanım kolaylığının görülmesi
- Atölyede gaz kullanımına gerek kalmaması ve tüp masrafının tamamen ortadan kalkması ve bu sayede aynı zamanda işçi sağlığı güvenliğinin de artırılması
- İşçilikten kazanç sağlanması operasyonda hız kazanılması ve verimlilik artışı
- Gelecekteki çalışmalar için tecrübe kazanılması ve vizyonunun geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Robot Seçim Kriterleri: 150 kg luk bir robot alımı yapılacak iş açısından uygun bulunmuştur. Bu şekilde işleme tezgâhı malzemeyi işlerken robot diğer malzemeyi alabilecektir. Robot çift tutuculu (gripper) olacaktır. 150 kg hem gripperlerin hem de en ağır çalıştığımız malzemeden iki taneyi aynı anda tutabilecek ve performansında düşme olmayacak şekilde seçilmiştir.

Dik İşleme Tezgâhı Alım Kriterleri: Başta belirtilen hedeflerin başarılabilmesi açısından ve yapacağımız operasyonun iki eksenli bir işleme operasyonu olması sebebiyle 2 eksenli bir işleme tezgâhının alınması uygun bulunmuştur.

Elektrikli Transfer Arabası Projesi: Kafes direk imalat atölyesinde özellikle 2. Holde çok yoğun bir şekilde kullanılan transfer arabasının elektrikli hale getirilmesinin ürün transfer hızının artması ve işçi sağlığı ve güvenliğinin sağlanması konusunda oldukça etkili bir proje olduğu söylenebilir. Yaklaşık olarak 6 ay da gerçekleşmesi beklenen projesi firmaya maliyeti yaklaşık olarak 25000 ₺ olarak ön görülmektedir.

Stok ve Envanter Yönetimi: Firma, hammadde ve yarı mamullerini “Uygun Tedarikçi Firma Listesi”nde geçen firmalardan temin etmektedir. Bu listede yerli ve yabancı birçok ülke bulunmaktadır. L profillerin 150*150*16 ebatlarına kadar olanları yerli tedarikçilerden, daha büyük ebatlara sahip olanları ise yabancı tedarikçilerden temin edilmektedir. Ekonomik sipariş miktarı hesaplaması tecrübeye bağlı olarak gerçekleşmekteydi. Excel VBA da ekonomik sipariş miktarı hesaplatarak toplam maliyeti bulan bir program tasarlanmıştır. Program verileri tablo 13’te verilmiştir (Sipariş maliyeti ve elde bulundurma maliyeti rassal değerler içerir).

Tablo 14. Optimum sipariş miktarı

Hammadde	Talep	Sipariş Maliyeti	Elde Bulundurma Maliyeti	Optimum Sipariş Miktarı	Toplam Maliyet
L200X16	691750	650	1	26301.2	26301.2
L50X4	679568	350	1	18433.2	18433.2
L50X5	575855	250	1	16968.4	16968.4
L45X4	533052	200	1	14602.1	14602.1
L45X4	513664	250	1	16025.9	16025.9
L80X6	511527	250	1	15992.6	15992.6

EOQ

Hammadde

L200X200X16-

Talep

691750.61

Sipariş Maliyeti

650

Elde Bulundurma Maliyeti

1

Optimum Sipariş Miktarı

29987.9274542273

Toplam Maliyet

29987.9274542273

ÇALIŞTIR

KAYDET

Şekil 29. Ekonomik sipariş miktarı ekranı

Hammadde girişi yapıldığında Excel de kayıtlı olan talep, sipariş maliyeti ve elde bulundurma maliyeti ekrana gelir buna bağlı olarak alıştır butonuna basıldığında optimum sipariş miktarı ve toplam maliyet hesaplanır. Ekonomik sipariş miktarı modelinde kullanılan formüller řu şekildedir:

Toplam maliyet;

$$T.M = \sum_{i=1}^n C_{0i} * \frac{D_i}{Q_i} + C_{hi} * \frac{Q_i}{2} \quad (5.23)$$

Ekonomik sipariş miktarı;

$$T.M = f(Q)' \rightarrow f(Q)' = C_{0i} * D_i * Q_i^{-1} + C_{hi} * \frac{Q_i}{2} \quad (5.24)$$

$$f(Q)' = \frac{-C_{0i} * D_i}{Q_i^2} + \frac{C_{hi}}{2}$$

$$\frac{C_{0i} * D_i}{Q_i^2} = \frac{C_{hi}}{2} \rightarrow EOQ = \sqrt{\frac{2 * D_i * C_{0i}}{C_{hi}}}$$

Yeniden sipariş verme noktası;

$$r = D_i * L \quad (5.25)$$

Ortalama sipariş aralığı;

$$T = \frac{Q}{D} \quad (5.26)$$

Sipariş aralığı;

$$N = \frac{D}{Q} \quad (5.27)$$

Q_i = Sipariş Miktarı

D_i = Yıllık ortalama talep

C_{0i} = Sipariş maliyeti

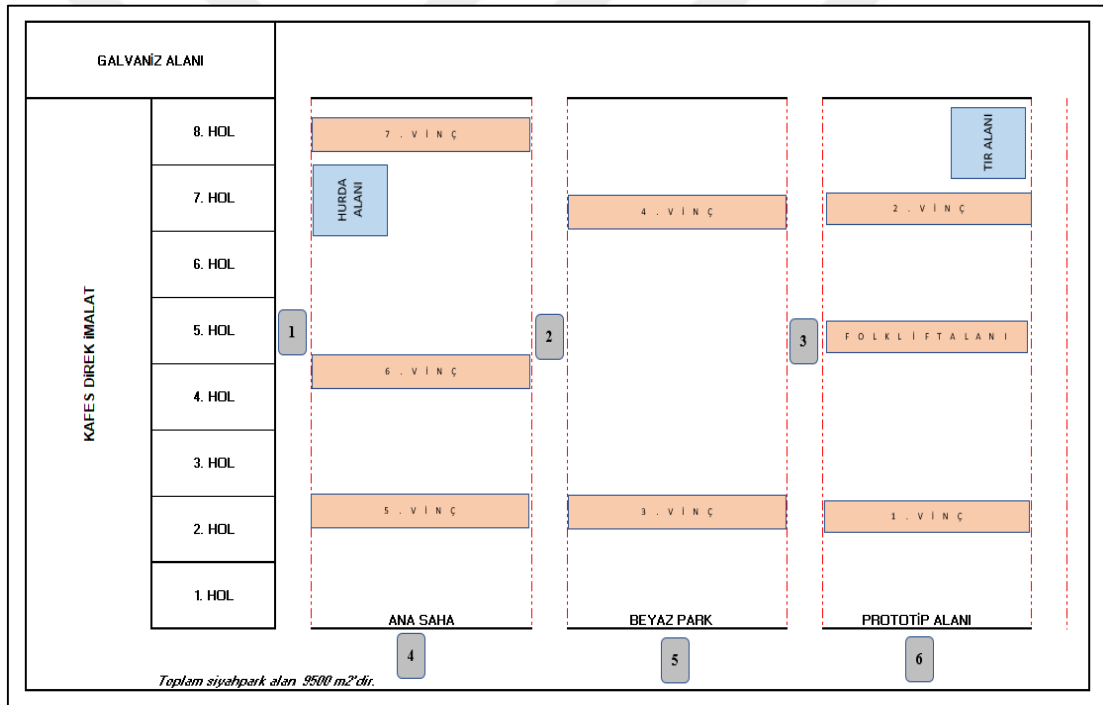
C_h = Stokta tutma maliyeti

L = Tedarik suresi (Lead time)

Klasik retim sistemlerinde stok, varlığı pek hissedilmeyen bir sorundur. Yalın retim sisteminde, sistemin temelini oluşturan stok politikasında, stoklara, para israfına yol açan ve

atıl olarak bekleyen kaynaklar olarak bakılır. Bu yüzden, çeşitli işletme sorunlarını ortadan kaldırmak için, önce işletmenin neresinde stok birikimi oluşuyorsa, bu oluşumu tespit etmek, sonra da bu sorunu çözümlmek gerekir. Gelecek çalışmada hesaplanan bu veriler kullanılarak gelecek tahmini gerçekleştirilerek JIT için uygun zemin hazırlanmıştır.

Depo Yönetimi: Satın alma siparişinin açılmasının ardından Siyah park (hammadde depo yeri ismidir) süreci başlamaktadır. Siyah park istif alanları şekil 30’da gösterilmiştir. Siyah parkta 7 adet vinç bulunur. Vinçlerin eski olmasından dolayı bir baştan diğer başa gitmesi için orta noktalarda makinenin durdurulup tekrar çalıştırılması gerekmektedir. Totale bakıldığında makine boşta bekleme süresinde fazlalık görülmüştür.



Şekil 30. Hammadde depo düzeni

Siyah parktan sadece hammadde girişi yapılmamaktadır. Aynı zamanda diğer fabrikalara gidecek kaynaklı, kumlamalı veya prototipi kurulacak malzemelerin çıkışı da yapılır. Bu malzemeler 7.holden çıkarılır.

Saha bölümleri malzeme kalınlıklarına göre ayrılmıştır. Bu plana göre alanlara istifleme yapılmaktadır. Siyah park sürecindeki eksiklikler Ek-1’de balık kılçığı ile

verilmiştir. Bu eksikliklere göre depo yönetimi için istif planı oluşturulmalıdır. Vinçlerin yenilenmesi ve kaldırma tonajlarının yükseltilmesi daha fazla malzeme taşımalarını sağlar. Gelecek durumda tasarlanan kalın, orta, ince malzemelere göre istif alanı oluşturulması malzeme arama süresini azaltacaktır. ABC analizi ile en çok imalata aktarılan malzemeler çıkarılarak buna göre alanda düzenleme yapılabilir. Görsel yönetim sağlanarak malzemelerin renklere ayrılması istif alanların farklı renklerde boyanarak malzeme ayrımını kolaylaştırabiliriz. Aynı zamanda bayrak sistemi yapılarak insan boyunu aşan istiflerin daha anlaşılır görünmesi sağlanabilir. Ağır malzemelerin ve yüksek istiflerin tehlike durumunu gösteren kırmızı, sarı ve yeşil etiketler yapılarak iş güvenliği ve görsel yönetim sağlanabilir. Hammadde depo alanında hedeflenen 10 kişi ile 2 vardiyada tüm sistemin imalatındaki tek parça akışı destekleyecek şekilde oluşturulmasıdır. Çalışanlara süreç iyileştirme eğitimleri verilerek sistemdeki açıkların tespiti ve iyileştirmesine katkıda bulunulabilir. Depo yönetiminde en önemli faktörlerden biri hurda sürecidir. Hurdanın satılacağı firmadan elde bulundurma maliyetine kadar tüm hesaplamaların önceden yapılmış olup kişiye bağlı sistemler ortadan kaldırılmalıdır. Firma ile farklı lokasyonlar arasında günlük araç trafiği görülmüştür. Bu trafiği yönetmek için her bilginin kayıt altında olması ve gelen-giden araçların nakliye firmasından istenen araçlar ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu takip için bir paket program ile araç talebi açılıp araç geldiğinde sistemden depo görevlisinin onaylaması gerekmektedir. Aksi halde sadece telefon ve mail üzerinden yapılan taleplerin takibi ve onay sürecinde aksaklıklar görülmüştür. Depo yönetimi için bir prosedür yazılmalı ve tesis buna göre yeniden düzenlenmeli ve süreçleri çıkarılmalıdır. Hammadde depo süreç riskleri tablo 15’te özetlenmiştir.

Tablo 15. Hammadde depo süreç riskleri

Adımlar	Riskler
Malzemenin ilgili sahadan alınması.	Eğer malzeme istif altında kalmışsa malzemenin alınma süresi değişkenlik gösterir.
Folklift ile taşınması.	Uzaklığa göre ve malzemenin duruş şekline göre değişken bir durumdur.
Tezgâha verilmesi	Tezgâh önünde yığılma olması.

Firma Süreç İyileştirme Çalışmaları

Planlama Bölümü İyileştirmeler: Planlama bölümü için yapılabilecek iyileştirmeler aşağıdaki gibidir. Ek-1’de Balık kılçığında verilen problemlere çözüm önerisi getirilmiştir. Alternatif çözümlerde sunulan çözüm önerileri verilmiştir, ancak değerlendirme sonucunda alternatif çözümlerin değerlendirilmesi ve en uygun çözümler seçilmiştir. İyileştirmeler genellikle yalın ofis uygulamalarını içermektedir. Evrak ve SAP süreçleri olmak üzere tüm süreçler gözden geçirilerek öneriler sunulmuştur.

Alternatif çözümler aşağıdaki gibidir.

1. Uygulama için sürecin başından sonuna kadar takip edilmesi.
2. Sorun kaynakları ve etkenlerinin araştırılması ve yetkin kişilerle görüşmeler yapılması.
3. Ön malzeme çalışması için SAS projesi ile tek format olarak malzeme çalışması gelecektir.
4. Araç takibi için Excel oluşturulması, istenen ve gelen araç takibinin yapılması.
5. Revizyonların sebepleri ve çözülebilirliği için ilgili departmanlar ile görüşme yapılması (Revizyon takip süreci).
6. Eğitim verilmesi için yönetim ile görüşme yapılması.
7. Hammadde çalışan kişilerin eğitime alınarak kesim yapabilecek şekilde yetiştirilmesi veya kesim elemanı alınması.
8. Açılan projelerin SAT/SAS takibi için format oluşturulması.
9. Tüm projelerin fabrikalara göre iş yükünün görülebileceği SAP ekranı oluşturulması.
10. Hammadde çalışmasında tekrarlanan adımların Excel makro ile kısaltılması.
11. İş tanımları ve yetkinlikler için polivalans oluşturulması.

Alternatif çözümlerin değerlendirilmesi ve en uygun çözümler aşağıda verilmiştir.

1. Araç takibi için Excel oluşturulması, istenen ve gelen araç takibinin yapılması.
2. Eğitim verilmesi için yönetim ile görüşme yapılması.
3. Hammadde çalışan kişilerin eğitime alınarak kesim yapabilecek şekilde yetiştirilmesi veya kesim elemanı alınması (Polivalansa göre eğitim tanımlanmıştır).

4. Açılan projelerin SAT/SAS takibi İçin eğer üretim tarihini seçiyorsa otomatik gecikme maili gelecektir. Fazla bağlanan SAS'lar için ise Excel formatı oluşturularak fazla miktar görülüp kullanılabilir.
5. Hammadde çalışmasında tekrarlanan adımların Excel makro ile kısaltılması(MIP Makro yeni formatı oluşturulmuştur).
6. Tüm projelerin görüleceği ekran için SAP ile görüşme devam etmektedir.
7. Revizyon sebepleri için SAP 'de "Revizyon sebebi" açıklamasının eklenmesi (SAP ile görüşme devam ediyor).
8. İş tanımları ve yetkinlikler için polivalans oluşturulması buna bağlı olarak eğitim planı oluşturulması.
9. Yapılan her sürecin bir akışının hazırlanması ve süreçlerin kişi özelinde değil departmanda çalışan diğer kişiler tarafından da yapılabilmesi için detaylı anlatım dosyalarının yazılması ve saklanması.
10. Proje planlarını görebilmek için tüm projeler alınarak bir format oluşturulmuştur (Schedule Master Plan Exceli).

Siyah Park Bölümü İyileştirmeler: Siyah park için yapılabilecek iyileştirmeler aşağıda verilmiştir.

1. İş etüdü çalışması ile tüm süreçlerdeki geçen sürelerin belirlenmesi ve mudaların (israf) kaynaklarının belirlenmesi.
2. İş tanımları ve süreçlerin doküman olarak oluşturularak siyah parkın yaptığı süreçlerin görülebilir olması.
3. Vinçlerin gerek taşıma kapasiteleri gerek eski olmaları sebebiyle yaşanan mudalardan arınmak için yeni sistem vinç sisteminin kullanılması (Vinç konusu yüksek miktarda maliyet gerektirdiği için öneri olarak sunulmuştur, uygulama kararı yönetime aittir).
4. İstifleme alanlarının ayırma için hali hazırda boyama işlemi uygulanmaktadır ancak günlük sirkülasyondan dolayı sürekli aşınma olmaktadır. Boya sistemi yerine bayrak sistemi veya renkli direkler ile ayırım gösterilebilir. Mevcut sistemde istiflerin yüksekliğinin fazla olması ve istifin diğer tarafının görünmemesi sebebiyle iş kazaları için çok tehlikelidir.
5. İstif planının yapılması (Bunun için planlama ve imalat ile birlikte ilerlenerek açılacak projelerin veya imalata verilmiş projelerin önceden bilinmesi ve ona göre istif planlarının yapılması).

6. İmalat ile görüşülerek kaynak, prototip ve galvaniz (diğer fabrikada yapılacak işlemler) için bekleyen malzemeler için araç ayarlama ve taşıma işlerinin planlı bir şekilde yapılması.
7. Planlama tarafından her gün istenen malzemelerin planının önceden siyah parka iletilerek her hafta kısa toplantılar ile (asakai) önceliklerin belirlenmesi.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toyota üretim sistemi olarak da bilinen yalın üretim yöntemi, günümüzdeki modern üretim anlayışının temelini oluşturan bir felsefedir. Bu felsefe, kitle üretiminde(ölçek ekonomisi) görülen fazla üretim vasıtasıyla birim başına düşen maliyeti düşürme anlayışına karşı çıkarak, kaliteli, ihtiyaç kadar ve tam zamanında üretimi hedefler. Yalın üretimin uygulanması, aslında karmaşık bir yöntem değildir. Ancak, bu felsefeyi benimseyen ve sahiplenen çalışanların olması disiplinli bir yaklaşım gerektirir. Aynı zamanda, sıfır veya az stoklu çalışılmadığı için, hassas bir üretim planlaması ve malzeme tedariki gerektirir. Aksi takdirde, bir istasyonda meydana gelebilecek bir aksaklık, tüm sistemi etkileyebilir ve akışı bozabilir. Yalın üretim sisteminde, işletmenin her noktasının aynı ritimle ilerlemesi ve bu ritmin asla bozulmaması önemlidir. Yalın üretimde, her türlü bekleme, taşıma, yürüme, arıza gibi israf kabul edilen unsurlar ortadan kaldırılmalı ve tüm çalışanlar bu felsefeye katılım sağlamalıdır. Aksiyomatik tasarım (Axiomatic Design, AD) ise, tasarımların bilimsel bir temele oturtulmasını ve tasarımcılara mantıksal bir düşünce süreci sunmayı amaçlayan bir yöntemdir. AD, bağımsızlık ve bilgi olmak üzere iki aksiyoma dayanır. Bilgi aksiyomu, alternatifler arasında sıralama yapmayı mümkün kılar ve farklı kriterlere göre en iyi alternatifin, minimum bilgi içeriğine sahip olan alternatif olduğunu belirler.

Aksiyomatik tasarım ile yalın üretim tekniklerini aşamalar halinde ele almak mümkündür. Bu çalışmada da enerji sektöründe yer alan bir fabrikada aksiyomatik tasarım ilkeleriyle yalın dönüşüm teknikleri ele alınmıştır. Öncelikli olarak aksiyomatik tasarım oluşturulmuş bu doğrultuda çalışma yapılmıştır. Uygulama yapılan fabrikada galvanizleme işlemi için iş etüdü çalışması yapılmış ve standart süreler hesaplanmıştır. Sonrasında fabrikanın en büyük sorunu olan stok yönetimi için veri analizi gerçekleştirilmiştir. Buna bağlı olarak en çok kullanılan malzemeler için ekonomik sipariş miktarı ve talep miktarı belirlenmiştir. Enerji nakil hattı ürünü için değer akış haritası oluşturulmuş ve ardından diğer yalın üretim teknikleri uygulanmıştır. Süre ve stok belirsizlikleri sebebiyle bulanık üçgen sayılar kullanılmıştır. Çalışan atama problemini matematiksel olarak ifade edebilmek açısından bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Bu problem çözülünce de çalışanlar hücrelere iş yükü dengesizlikleri minimize edilecek şekilde atanmışlardır.

Bu çalışmanın önemi, işletmelerde uygulanan yalın üretim tekniklerinin getirdiği üstünlüklerin değerlendirilmesidir. Yalın üretim ile işletmenin israfları azalacak, maliyetleri düşecek, verimlilikteki artış ile büyüme ve karlılık sağlanabilecektir.

Bu çalışmada ele alınan hususlar ve yenilikler aşağıdaki maddelerde özetlenmiştir.

- Enerji sektöründeki bir firmanın süreç analizi yapılmıştır. Ürünlerin işlem adımları analiz edilecek ürün ailesi seçimi yapılmıştır.
- Mevcut ve gelecek durum haritaları oluşturulmuştur. Hedeflenen seviye için bir yöntembilim önerilmiştir.
- Aksiyomatik tasarım oluşturularak israflardan arındırılan yalın sistem için gerekli adımlar çıkarılmıştır.
- Termin, hazırlık ve işlem sürelerindeki belirsizlik nedeniyle bulanık sayılar olarak ele alınmıştır.
- Çalışan iş yükü dengesizliğini minimize etmek amacıyla bir matematiksel model önerilmiştir.
- Süreç iyileştirme çalışmaları kapsamında ilk defa enerji sektöründeki bir firmanın yalın dönüşümü için yalın teknikler kullanarak uygulama yapılmıştır.
- Enerji nakil hattı üretimi için bulanık değer akış haritası ilk defa ele alınmıştır.
- Enerji sektöründe yalın dönüşüm aşamalarını aksiyomatik tasarım olarak ilk defa ele alınmıştır.
- Bu sektörde ilk defa atama problemi için çalışanlar arasında iş yükü dengesizliğini minimize etme amacıyla birlikte bir matematiksel model önerisinde bulunulmuştur. Gelecek çalışmalarda ele alınabilecek konular aşağıdaki maddelerde özetlenmektedir.
- Önerilen matematiksel modele görevler arasında öncelik eklenebilir. Çok aşamalı, çok ürünlü, dinamik bir sistem ele alınabilir. Sisteme montaj hattı dengeleme problemi eklenebilir.
- Süreç iyileştirme tekniklerine tam zamanında üretim için tedarikçi ve müşteri istekleri eklenerek planlama bölümü aracılığıyla yeni sistem tasarımı yapılabilir.
- Bu yöntembilimin farklı sektörlerde uygulanabilirliği tartışılabilir ve yeni bir uygulama alanı oluşturulabilir.

7. KAYNAKLAR

- Akgül, H., Değer Akış Haritasıyla “İşi” Kolaylaştırmak.
<https://lean.org.tr/deger-akis-haritasiyla-isi-kolaylastirmak> 13 Şubat 2018
- Albayrak K. O., 2019. Enerji Verimliliğinde Yalın Yöntemlerin Uygulanması: Soğutucu Fabrikasında Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Assan, S.S. ve Tanyas, M. 2007. Intergrating Hoshin Kanri and the Balanced Scorecard for Strategic Management: The Case of Higher Education, Total Quality Management, 18,9, 999-1041.
- Babic, B. 1999. Axiomatic Design of Flexible Manufacturing Systems. International Journal of Production Research, 37,5, 1159-1173.
- Bilici S. ve Kosanoğlu F., 2021, Değer Akış Haritalama Yöntemi Kullanılarak Tekstil Sektöründe Yalın Üretim Uygulaması, Int. J. Adv. Eng. Pure Sci, 33,1, 131-142.
- Black, J., ve Philips D.T., Lean Engineering The Future Has Arrived, Virtualbookworm.com Publishing Inc., Amerika, 2014.
- Bulut K., ve Altunay H., 2016. Değer Akışı Haritalandırma Yöntemi: Mobilya Sektöründe Bir Uygulama, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 8,1.
- Cavique, M. ve Coelho, A.M.G., 2008. “Axiomatic Design and HVAC Systems: An Efficient Design Decision-Making Criterion”, Energy and Buildings, 41,2, 146-153.
- Cesur, N.,1997. Yalın Üretimin Arkasındaki Nedenler. Verimlilik Dergisi.20,4, 113- 144.
- Cochran, D. S. ve Reynal, V. A., 1996. Axiomatic Design of Manufacturing Systems. The Lean Aircraft Initiative Report Series, RP96-05-14, Mass. Institute of Technology.
- Çebi S., ve Kahraman C., 2010. Developing A Group Decision Support System Based On Fuzzy Information Axiom, Knowledge-Based Systems, 23, 3-16.
- Dar-El, E. M., ve Rabinovitch, M.,1988. Optimal Planning and Scheduling of Assembly Lines, International Journal of Production Research, 26,9, 1433– 1450.

- Demirci Ö. ve Gündüz T., 2020. Combined Application Proposal Of Value Stream Mapping (VSM) And Methods Time Measurement Universal Analysis System (MTM-UAS) Methods In Textile Industry, Journal Of Industrial Engineering, 31,2, 234-250.
- Dubois, D. ve Prade, H., 1983. Ranking Fuzzy Numbers In The Setting of Possibility Theory. Information Sciences 30,183-224.
- Haik B., Wasiloff J., Axiomatic Design Quality Engineering: A Transmission Planetary Case Study, Proceedings of ICAD2004 The Third International Conference on Axiomatic Design, Haziran 2004, Seoul, 655-675.
- Hay, E., Tam Zamanında Yönetim, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 2000.
- Hirano, H., 5 Pillars of the Visual Workplace, Productivity Pres, Portland-Oregon, 1990.
- Hou, L. ve Wen, Z., Axiomatic Design of An Integrated Automatic Welding System For The Handle of Motorcycle, IEEE International Conference on Control and Automation, Haziran 2007, 1245-1249.
- Hwang, Y. D., Cha, S. W. ve Kang, Y. J., 2002. Tool Development For Evaluation of Quantitative Independency Between Frs In Axiomatic Design, International Journal Of The Korean Society Of Precision Engineering, 3,2, 52-60.
- Gu, P., Rao, H. A. ve Tseng, M. M., 2001. Systematic Design Of Manufacturing Systems Based On Axiomatic Design Approach, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 50,1, 299-301.
- Gültekin N., 2020. Değer Akış Haritalama Yöntemi İle Yalın Uygulamalar: Tekstil Sektörü Örneği, Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi, 4,2, 477- 492.
- Houshmand, M. ve Jamshidnezhad, B., 2006. An Extended Model of Design Process of Lean Production Systems by Means of Process Variables, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 22, 1-16.
- Karlsson, C. ve Ahlström, P., 1996. Assessing Changes Towards Lean Production, International Journal of Operations & Production Management, 16,2, 24-41.
- Katayama, O., 21. Yüzyıla Hazırlanan Japon Şirketleri-Başarıya Götüren Stratejiler, Sabah Kitapları Yayınları, İstanbul, 1998.
- Keskin C., Endüstriyel Enerji Verimliliği Çalışmalarında Değer Akış Haritalarının Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2013.
- Lee, K. D., Suh, N. P. ve Oh J. H., 2001. Axiomatic Design of Machine Control System. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 50,1, 109-114.

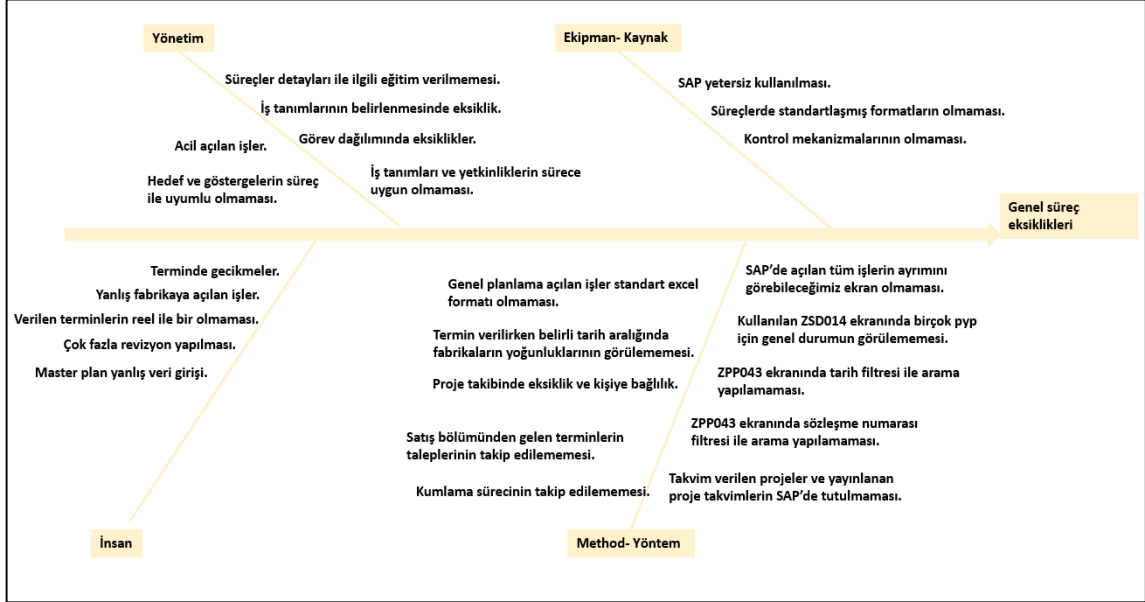
- Li, J. W., Chen, X. B. ve Zhang, W. J., 2011. Axiomatic-Design-Theory-Based Approach To Modeling Linear High Order System Dynamics, IEEE /ASME Transactions on Mechatronics, 16,2, 341-350.
- Liker, J.K. ve Wu, Y.C., 2000. Japanese Automakers, US Suppliers and Supply-Chain Superiority, Sloan Management Review, 42,1, 81-93.
- Liker, J.K., The Toyota Way-14 Management Principles from the World Greatest Manufacturer, McGraw-Hill, New York, 2004.
- Liker, K.J., Toyota Tarzı 14 Yönetim İlkesi, Orhan Holding Yayınları, İstanbul, 2005.
- Noel M., Applying Axiomatic Design Principles To The House Of Quality, Thesis, Acquisitions and Bibliographic Services, Canada, 2001.
- Ohno, T., Toyota Ruhü –Toyota Üretim Sisteminin Doğuşu ve Evrimi, Scala Yayıncılık, İstanbul, 1998.
- Ogot, M., 2011. Conceptual Design Using Axiomatic Design In A Triz Framework, Procedia Engineering, 9, 736-744, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.163>
- Okur, A., Yalın Üretim: 2000' li Yıllara Dogru Türkiye için Yapılanma Modeli, Söz Yayınları, İstanbul, 1997.
- Riezebos, J. ve Klingenberg W., ve Hicks, C., 2009. Lean Production and Information Technology: Connection or Contradiction?, Computers in Industry, 60,4, 237–247.
- Rohac T. ve Januska M., 2015. Value Stream Mapping Demonstration On Real Case Study, Procedia Engineering, 100, 520-529.
- Rother, M., ve Shook, J., Görmeyi Öğrenmek, Yalın Enstitü Yayınları, İstanbul, 1999.
- Sarucan A., Yılmaz A., 2019. Application Process And Value Stream Mapping In A Company, Journal Of Social And Humanities Sciences Research, 6,46, 4131-4140.
- Satoğlu Ş., Durmuşoğlu B., 2009. Düzensiz Talep Koşullarında Melez Üretim Sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarımı, İTÜ Dergisi, 8,4, 173-183.
- Seçkin, F., Yalın Üretim Teknikleri ve KOBİ'lerde Uygulanabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2007.
- Sevgili A. ve Antmen F. Z. 2019, Yalın üretim tekniklerinden değer akış haritalandırmanın bir metal işleme fabrikasında süreç iyileştirme amacıyla uygulanması, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt, Sayı 16, 219 – 228.

- Sevindirici, İ., Üretim Sistemleri, Kum Saati Yayınları, İstanbul, 2009.
- Schnetzler, M., Sennheiser, A., ve Schönsleben, P., 2007. A decomposition-based approach for the development of a supply chain strategy. *International Journal of Production Economics*, 21-42.
- Shah, R. ve Ward, P.T., 2003. Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance, *Journal of Operations Management*, 21,2, 129-149.
- Shah, R. ve Ward, P.T., 2007. Defining and Developing Measures Of Lean Production, *Journal Of Operations Management*, 25,1, 785-805.
- Shingo, S., A Revolution in Manufacturing the SMED System, Productivity Pres, Cambridge, 1988.
- Sihag A., Kumar V. ve Khod U., 2014. Application of Value Stream Mapping In Small Scale Industries, *Interantional Journal of Mechanichal Engineering and Robotics Research*, 3,3.
- Suh, N.P., 2007. Ergonomics, Axiomatic Design and Complexity Theory, *Theoretical Issues In Ergonomics Science*, 8,2, 101-121.
- Suh N.P., *Axiomatic Design - Advances and Applications*, 1st ed., Oxford University Press, New York, 2001.
- Suh, N.P., Cochran, D.S. ve Lima P.C., 1998. Manufacturing System Design, *Annals of the CIRP*, 47, 2 627–639.
- Suzaki, K., İmalatta Mükemmellik Yolu Sürekli İyileştirme Teknikleri , İstanbul, 2005.
- Tapping, D., *The Lean Pocket Guide Tools For The Elimination of Waste*, Running Lean, USA, 2003.
- Tapping, D. ve Shuker, T., *Value Stream Management for the Lean Office*, Productivity Press, New York, 2003.
- Tyagi, S., Yang, K., Tyagi, A. ve Verma, A., 2012. A Fuzzy Goal Programming Approach for Optimal Product Family Design of Mobile Phones and Multiple-Platform Architecture. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 42,6, 1519-1530.
- Ünnü, K., *Yalın Üretim Sistemi ve Yardımcı Teknikleri*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2003.
- Womack P.J., Jones, T.D. ve Roos, D., *The Machine That Changed The World*, Rawson Associates, New York, 1990.

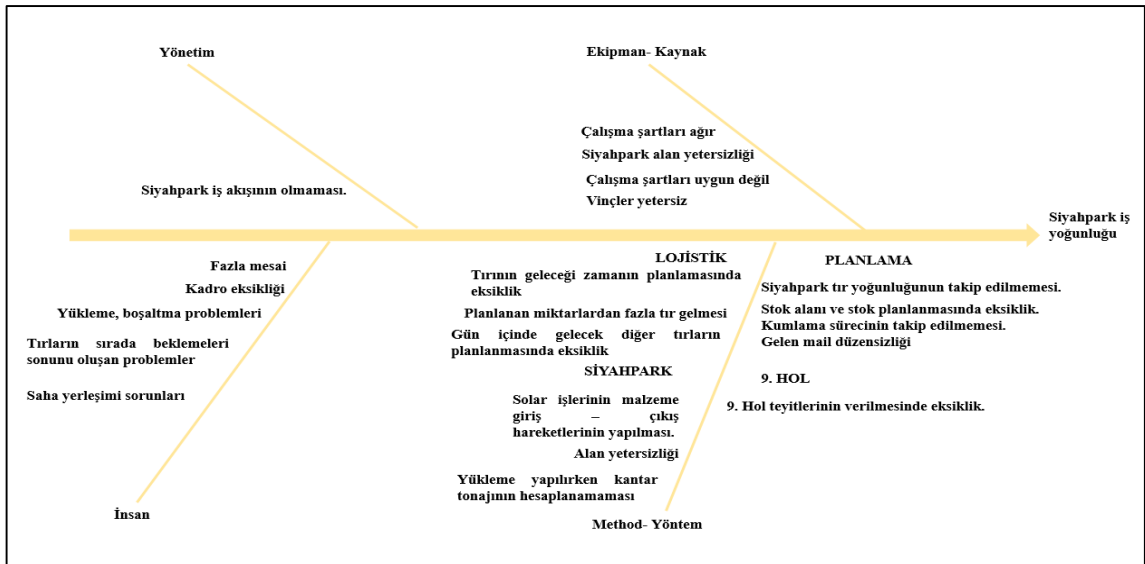
- Wong, Y.C., Wong, K.Y. ve Ali, A., 2009. A Study On Lean Manufacturing Implementation In The Malaysian Electrical and Electronics Industry, *European Journal of Scientific Research*, 38,4, 521-535.
- Yaşar E. A., Durmuşoğlu M. B., Dinçmen M., Design of a Knowledge Management System Based on Axiomatic Design Principles, 35. International Conference on Computers and Industrial Engineering, 2005, İstanbul, 2115-2130.
- Yılmaz, E., Siparişe Göre Üretim Yapan Sistemlerde Yalın Üretim Uygulamaları, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- Yılmaz, Ö. F., Demirel, O. F., Zaim, S., ve Sevim, S., 2020. Assembly Line Balancing By Using Axiomatic Design Principles: An Application From Cooler Manufacturing Industry, *International Journal of Production Management and Engineering*, 8,1, 31-43.
- Yılmaz, Ö. F., Özçelik, G., ve Yeni, F. B., 2020. Developing a Customer Oriented Lean Production System Using Axiomatic Design and Fuzzy Value Stream Mapping. *Customer Oriented Product Design Intelligent and Fuzzy Techniques*, 151-168.
- Yılmaz G., Konsinye Sürecinin Aksiyomlarla Tasarım İlkeleri İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2015.
- Wang ,Y.-M., Yang, J.-B., Xu, D. L. ve Chin, K.S., 2006. On The Centroids of Fuzzy Numbers, *Fuzzy Sets and Systems* 157,7, 919 -926.
- Zein, A., Li, W., Herrmann, C. ve Kara, S., 2011. *Glocalised Solutions For Sustainability In Manufacturing : Energy Efficiency Measures For The Design and Operation of Machine Tools: An Axiomatic Approach*. Berlin, Heidelberg: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-19692-8_48
- Zhu, F., Lu, G. ve Roger, Z., 2008, On The Development of a Knowledge-Based Design Support System For Energy Absorbers, *Materials & Design*, 29,2, 484-491.

8. EKLER

Ek-1. Balık Kılçığı ile Problem Tespiti



Ek Şekil 1. Genel süreç eksiklikleri



Ek Şekil 2. Siyah park iş yoğunluğu

Ek-2. Mevcut Durum Haritası Verileri

Ek Tablo 1. Mevcut durum hazırlık süreleri

İşlem	Bulanık sayılar			Durulaşmış değer
	a (min)	b (medyan)	c (max)	
Kesme / Markalama / Delme	1.0	3.0	30.0	11.3
Oyma	2.0	5.0	10.0	5.7
Galvanizleme	10.5	21.0	46.5	26.0
Paketleme	2.0	5.0	10.0	5.7
Montaj	2.0	5.0	10.0	5.7
Demontaj	2.0	5.0	10.0	5.7
Kalite Kontrol Paketleme	2.0	3.0	10.0	5.0

Ek Tablo 2. Mevcut durum stok miktarları (adet cinsinden)

İşlem	Bulanık Sayılar			Durulaşmış Değer
	a (min)	b (medyan)	c (max)	
Kesme / Markalama / Delme	1440	1600	2000	1680
Oyma	1440	1600	2000	1680
Galvanizleme	1440	1600	2000	1680
Paketleme	1440	1600	2000	1680
Montaj	1800	2000	2500	2100
Demontaj	1800	2000	2500	2100
Kalite Kontrol Paketleme	1800	2000	2500	2100

Ek Tablo 3. Stok süreleri (gün cinsinden)

İşlem	Bulanık Sayılar			Durulaşmış Değer
	a (min)	b (medyan)	c (max)	
Kesme / Markalama / Delme	3.0	5.6	13.9	7.5
Oyma	3.0	4.4	8.3	5.3
Galvanizleme	1.3	2.8	6.0	3.3
Paketleme	0.2	0.3	0.6	0.4
Montaj	1.3	2.8	8.7	4.2
Demontaj	1.3	2.8	8.7	4.2
Kalite Kontrol Paketleme	0.1	0.1	0.2	0.1

Ek Tablo 4. Gelcek durum işlem süreleri

İşlem	Bulanık sayılar			Durulaşmış değer
	a (min)	b (medyan)	c (max)	
Kesme / Markalama / Delme	1.0	3.0	15.0	6.3
Oyma	2.0	5.0	8.0	5.0
Yağ Alma	2.0	5.0	7.0	4.7
Galvanizleme	10.5	21.0	33.5	21.7
Paketleme	2.0	5.0	8.0	5.0
Kalite Kontrol Paketleme	2.0	3.0	5.0	3.3

Ek-4. GAMS Matematiksel Model

sets i workers /1*17/

j tasks /1*16/

k cells /1*3/;

variables y(i,k),z,S(i);

binary variables x(i,j,k);

Table t(i,j) i işçisinin j i işini yapma süresi (dakika)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	83	71	94	84	85	83	86	137	170	158	144	228	202	206	192	208
2	75	97	107	74	84	101	96	173	140	180	171	214	200	210	208	252
3	96	78	93	73	92	87	96	144	140	114	160	266	214	254	254	196
4	71	102	83	105	79	86	110	177	178	160	174	250	218	246	232	236
5	79	101	84	88	71	110	79	111	141	124	142	222	264	248	216	190
6	101	104	106	98	80	70	94	129	166	132	147	218	204	196	240	222
7	75	94	92	87	105	88	109	144	112	114	122	242	224	242	210	214
8	98	82	73	87	86	107	104	147	175	128	144	190	190	264	214	228
9	75	82	85	71	92	88	86	135	121	162	134	268	222	220	256	210
10	108	108	104	100	94	71	77	118	120	113	167	248	210	232	202	216
11	105	102	71	104	102	105	94	167	112	150	123	990	990	990	990	990
12	72	71	100	71	101	74	89	112	125	163	125	990	990	990	990	990
13	97	103	75	106	101	96	80	156	135	144	180	990	990	990	990	990
14	71	70	105	87	83	104	81	132	132	111	148	990	990	990	990	990
15	84	92	82	72	100	73	93	172	114	145	118	990	990	990	990	990
16	91	103	107	80	83	76	93	147	123	148	161	990	990	990	990	990
17	92	73	71	84	84	73	78	139	174	133	128	990	990	990	990	990

Table a(j,k) task-machine possibilities

	1	2	3
1	1	0	0
2	1	0	0

Ek 4'in devamı

3 1 0 0

4 1 0 0

5 1 1 0

6 1 1 0

7 1 1 0

8 0 1 0

9 0 1 0

10 0 1 0

11 0 1 0

12 0 0 1

13 0 0 1

14 0 0 1

15 0 0 1

16 0 0 1;

Equations c1(i),c2(i,j,k),c3(i,j,k),c4(j),c5(i),c6(i),c7,c8,c9(i,k);

c1(i).. sum(k,y(i,k))=L=1;

c2(i,j,k).. x(i,j,k)=L=y(i,k);

c3(i,j,k).. x(i,j,k)=L=a(j,k);

c4(j).. sum((i,k),x(i,j,k))=E=P(j); ;

c5(i).. sum((j,k),x(i,j,k)*t(i,j))=E=S(i);

c6(i).. S(i)=L=W(i);

c7.. sum((i,k),y(i,k))=L=6;

c8(i).. S(i)=L=z;

C9(i,k).. sum(j,x(i,j,k))=G=y(i,k);

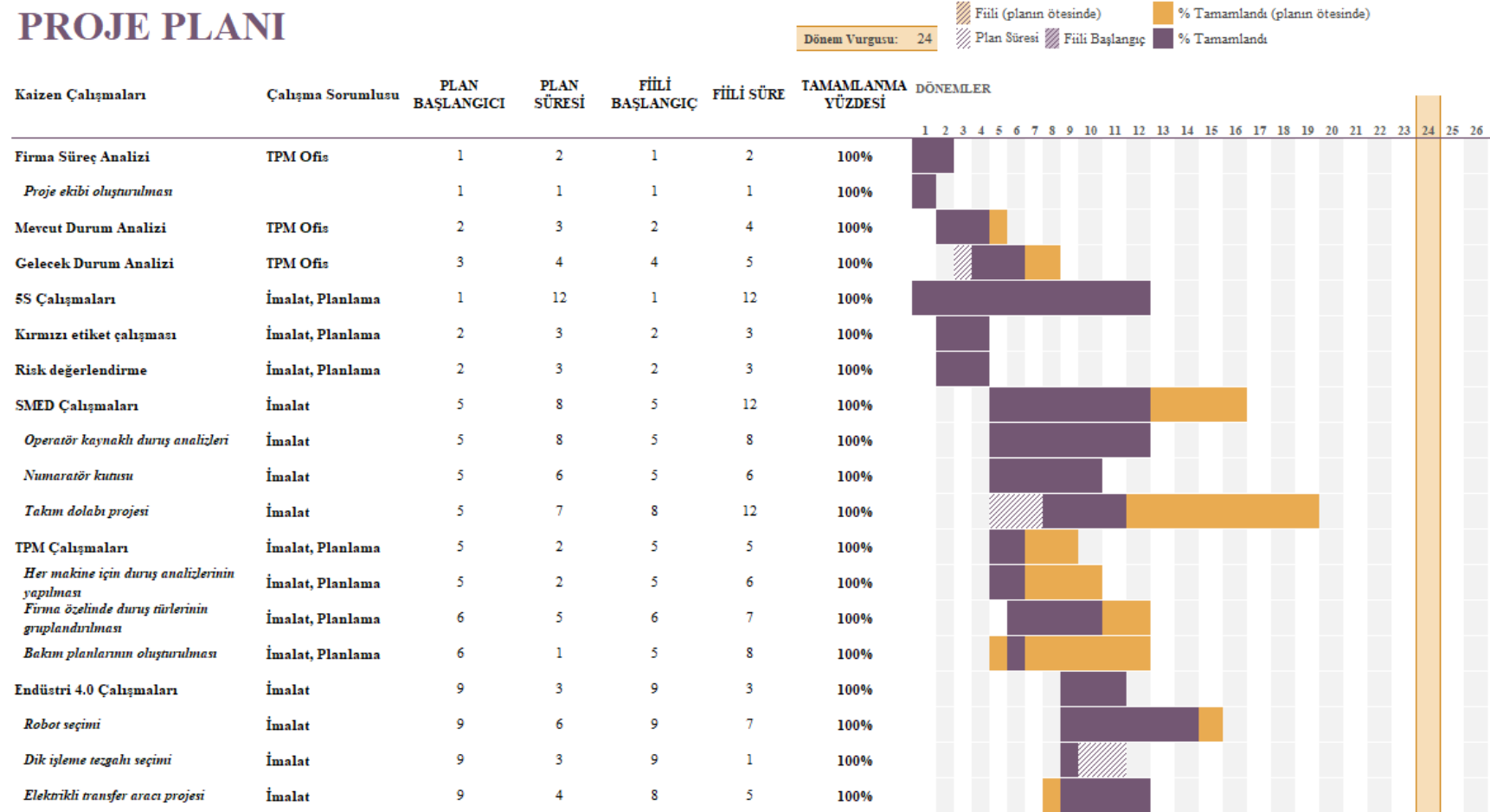
MODEL is /all/;

SOLVE is using MIP minimizing z;

display x.l,s.l,y.l;

Ek-5. Kaizen Proje Planı

PROJE PLANI



ÖZGEÇMİŞ

Selcan USTA, Lise öğrenimini 2014 yılında Artvin Kazım Karabekir Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2023 Eylül ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2020 yılından itibaren enerji ve madencilik sektörlerinde süreç geliştirme uzman mühendisi olarak çalışmaktadır.

