



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **AKSİYOMATİK TASARIM METODU YAKLAŞIMIYLA TORNA TEZGÂHI SEÇİMİ**

**KORAY KARŞILAYAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Makine Mühendisliği Programı**

**DANIŞMAN**

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet FEYZİOĞLU**

**İSTANBUL, 2022**



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **AKSİYOMATİK TASARIM METODU YAKLAŞIMIYLA TORNA TEZGÂHI SEÇİMİ**

**KORAY KARŞILAYAN**

(523219010)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet FEYZİOĞLU

**İSTANBUL, 2022**

## **TEŞEKKÜR**

Öncelikle başta annem Sıddıka KARŞILAYAN ve babam Ömer KARŞILAYAN olmak üzere abim Ahmet KARŞILAYAN ve ablam Esra KIZILYAMAÇ’a, sağladıkları maddi manevi destek, duydukları güven ile gösterdikleri sevgi ve anlayış için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez süreci boyunca bilgi ve deneyimleri ile çalışmalarına yön gösteren çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet FEYZİOĞLU’na her zaman gösterdiği ilgi ve desteğinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öneri ve bana kattığı bakış açılarından dolayı çok kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ferhat GÜNGÖR’ e sabır ve anlayışından dolayı şükranlarımı sunarım.

Tez içerisinde yardım ve katkılarından dolayı TAKIMSAŞ KESİCİ TAKIM ve MAKİNE SANAYİ TİC. AŞ’ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca desteği ve bilgileri ile her zaman bana destek olan, yanımda bulunan çok kıymetli arkadaşlarım Makine Yüksek Mühendisi Derya ULUĞ, Berkay ÇETİN ve Kürşat TANRIVER hocalarıma ve Mekatronik Yüksek Mühendisi Kübra PEHLİVAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresince manevi desteğini her zaman hissettiğim çok kıymetli arkadaşım Yusuf SÜRÜCÜ ve Burak AKTAŞ’a teşekkürlerimi sunarım.

**Kasım, 2022**

**Koray KARŞILAYAN**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                               |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| TEŞEKKÜR .....                                                                                | i    |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                              | ii   |
| ÖZET .....                                                                                    | vi   |
| ABSTRACT .....                                                                                | viii |
| SEMBOLLER .....                                                                               | x    |
| KISALTMALAR .....                                                                             | xi   |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                           | xii  |
| TABLolar LİSTESİ .....                                                                        | xiv  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                | 1    |
| 1.1. Literatür Araştırması.....                                                               | 2    |
| 1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı.....                                                              | 5    |
| 1.3. Tezin Yapısı .....                                                                       | 6    |
| 2. AKSİYOMATİK TASARIM.....                                                                   | 8    |
| 2.1. Aksiyomatik Tasarı İlkeleri .....                                                        | 8    |
| 2.2. Aksiyomatik Tasarımın Hiyerarşisi .....                                                  | 12   |
| 2.2.1. Eşleştirme ve Fonksiyonel Gereksinimlere (İhtiyaçlara) Karşı Müşteri İhtiyaçları ..... | 14   |
| 2.2.2. Analitik Hiyerarşi Sürecinin Uygulama Adımları.....                                    | 16   |
| 2.2.3. Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar).....                                            | 18   |
| 2.2.4. Aksiyomlar (Postulatlar) .....                                                         | 18   |
| 2.2.4.1. Bağımsızlık Aksiyomu.....                                                            | 19   |
| 2.2.4.2. Enformasyon Aksiyomu.....                                                            | 25   |
| 2.2.5. Sağlam Tasarım: Enformasyon İçeriğinin Azaltılması .....                               | 31   |
| 2.2.5.1. Sapmanın İndirgenmesi.....                                                           | 32   |

|          |                                                                                                               |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.5.2. | Varyansın İndirgenmesi .....                                                                                  | 33 |
| 2.2.5.3. | Enformasyon Aksiyomunun Aksiyomatik Tasarım Parametrelerinin Entegrasyonu ile Azaltılması.....                | 39 |
| 2.2.5.4. | Tam Olmayan Enformasyon Aksiyomu ile Tasarım Yapmak .....                                                     | 40 |
| 2.3.     | Tek Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarım .....                                                        | 41 |
| 2.3.1.   | Tek Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarıma Karşı Çok Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarım..... | 43 |
| 2.3.2.   | Enformasyon Aksiyomunun Azaltılması .....                                                                     | 45 |
| 2.3.3.   | Tek Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarım İçin Tasarım Düşünceleri.....                                | 51 |
| 2.3.4.   | Tek Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarım veya Enformasyon Aksiyomu .....                              | 53 |
| 2.4.     | Aksiyomatik Tasarım Enformasyon İçeriğine Yeni Yaklaşımlar.....                                               | 56 |
| 2.4.1.   | Kullback Enformasyon Yöntemi ile Enformasyon Aksiyomu.....                                                    | 56 |
| 2.4.2.   | Aksiyomatik Tasarım ve Taguchi Tasarımı Arasındaki Enformasyon Bağıntısı .....                                | 59 |
| 3.       | CNC TORNA TEZGÂHI VE SAHA ARAŞTIRMASI .....                                                                   | 61 |
| 3.1.     | İmalat Süreci ve Torna Tezgâhı .....                                                                          | 61 |
| 3.1.1.   | Tornalama ve CNC Torna Tezgâhı .....                                                                          | 63 |
| 3.1.2.   | Tezgâh Özellikleri .....                                                                                      | 66 |
| 3.1.3.   | Tezgâha Ait Elemanlar .....                                                                                   | 68 |
| 3.2.     | Saha Araştırması ve Anket Çalışması.....                                                                      | 71 |
| 3.2.1.   | Araştırmanın Gerekliliği.....                                                                                 | 72 |
| 3.2.2.   | Araştırma Evreni ve Örnekleme .....                                                                           | 72 |
| 3.2.3.   | Sınırlar .....                                                                                                | 72 |
| 3.2.4.   | Kabullenmeler .....                                                                                           | 73 |

|          |                                                          |     |
|----------|----------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.5.   | Veri Toplama.....                                        | 73  |
| 3.2.6.   | Veri Analizi .....                                       | 73  |
| 3.2.7.   | Saha Araştırması Sonuçları .....                         | 75  |
| 4.       | BULGULAR VE TARTIŞMA .....                               | 79  |
| 4.1.     | Seçim Kriterini Etkileyen Faktörler.....                 | 79  |
| 4.1.1.   | Tezgâh Performansı.....                                  | 79  |
| 4.1.2.   | Taretteki Takım Değiştirme Hızı.....                     | 80  |
| 4.1.3.   | Maksimum Devir Sayısı ve Kesme Hızı .....                | 82  |
| 4.1.4.   | Motor Gücü .....                                         | 84  |
| 4.1.5.   | Ebatlar.....                                             | 85  |
| 4.1.6.   | Talaş Konveyörü ve Besleme Ünitesi .....                 | 85  |
| 4.1.7.   | Eğitim ve Teknik Destek .....                            | 86  |
| 4.1.8.   | Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğü.....                       | 86  |
| 4.1.9.   | Acil Durdurma ve Takım Çarpması .....                    | 86  |
| 4.1.10.  | Isınmama Durumu .....                                    | 88  |
| 4.2.     | CNC Torna Tezgâhı Temel İşlemleri ve Malzeme Seçimi..... | 88  |
| 4.2.1.   | CNC Torna Tezgâhı Temel İşlemleri .....                  | 88  |
| 4.2.2.   | Malzeme Seçimi .....                                     | 89  |
| 4.2.2.1. | AISI 4140 Çeliği .....                                   | 91  |
| 4.2.2.2. | AISI 8620 Çeliği .....                                   | 93  |
| 4.2.2.3. | AISI 4340 Çeliği .....                                   | 95  |
| 4.3.     | CNC Torna Tezgâhı Seçimi Ölçüm Hesaplamaları.....        | 96  |
| 5.       | SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                  | 113 |
|          | KAYNAKÇA .....                                           | 115 |
|          | EKLER .....                                              | 121 |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| EK-1 Saha Çalışmasında Sorulan Sorular ..... | 122 |
| EK-2 Parça 1 - Freze Kafası .....            | 126 |
| EK-3 Parça 2 - Freze Malafası.....           | 127 |
| EK-4 Parça 3 - Nervür Bara.....              | 128 |
| EK-5 Parça 4 - Centerlock Delik Kateri ..... | 129 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                | 130 |



## ÖZET

### AKSİYOMATİK TASARIM METODU YAKLAŞIMIYLA TORNA TEZGÂHI SEÇİMİ

Endüstriyel alanda imalatçı olarak anılan kurum ve firmalara, imalat işlemlerini yapabilmeleri için oldukça yaygın kullanılan CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) Torna Tezgâhlarının Aksiyomatik Tasarım (AT) metodolojisi yardımı ile seçimleri gerçekleştirilmiştir. İmalatçı firmalardan CNC Torna Tezgâhları vasıtasıyla üretilmek üzere bir grup stok malzemeler üzerinden parça imalatı istenmektedir. Üretilmek istenen parçalar için stok malzemelerin üzerinden istenmeyen kısımlarının çıkarılması prensibi olarak adlandırılan Talaşlı İmalat yöntemi ve CNC Torna Tezgâhları kullanılmaktadır. Üretimi gerçekleştirmek için kullanılacak olan CNC Torna Tezgâhlarının önce tezgâh seçiminin ve sonrasında parça imalatının gerçekleştirebilmesi için belirlenen imalatçı firmalar aracılığı ile saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen saha çalışmasında imalatçı firmalarla kullanıldıkları CNC Torna Tezgâhları için memnuniyet anketi sunulmuştur. Anket içerisinde tezgâh seçimine ve parça işleme özelliklerine yönelik sorular sorulmaktadır. Verilen cevaplara göre işlenmek istenen parçalar adına ve seçimi gerçekleştirilmek üzere bir grup CNC Torna Tezgâhi için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden (ÇKKV) biri olan AT metodu kullanılmıştır. Aksiyomatik Tasarım metodolojisinde yer alan Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar) ve Tasarım Parametreleri kullanılarak CNC Torna Tezgâhi yatırımı yapmak isteyen firmalara tezgâh seçim konusunda seçim kriterleri oluşturulmuş ve bu kriterler sayısal değerler ile desteklemektedir.

İnsanoğlu var olduğu süreç boyunca işlerini kolaylaştırmak amacıyla parçalar üretmektedir. Üretimi ve üretmeyi zaman içerisinde ilerlettikçe süreci makineler vasıtasıyla gerçekleştirmeye başlamıştır. CNC Torna Tezgâhları da üretim prosesi boyunca en yaygın kullanılan makinelerdendir. Talaşlı İmalat yöntemleri içerisinde yer alan CNC Torna Tezgâhları işlenmemiş ya da yarı işlenmiş mamul olarak adlandırılan stok parçaların yüzeyinden parça kaldırma işlemidir.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan AT metodu ortaya atıldığı ilk dönemlerde üretim proseslerinin iyileştirilmesi ve kaliteyi arttırmak amaçlanmaktadır. Metodun yaygınlaşması ile beraber kullanım alanları da genişlemektedir ve bir ürünün seçimi konusunda da kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında bir grup parçanın imalatını gerçekleştirecek olan CNC Torna Tezgâhının AT yöntemi aracılığı ile seçimi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen CNC Torna Tezgâhı seçimi sonucunda belirlenen tezgâh KOBİ'lere (Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler) yatırım tavsiyesi olarak sunulmaktadır. Gerçekleştirilmesi beklenen yatırım işlemi firma yetkililerine sunulmuş ve alınacak yatırım kararı firmalara bırakılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayarlı Sayısal Kontrol, CNC Torna Tezgâhı, Gruplandırma Sistemleri, Seçim Kriterleri, Çok Kriterli Karar Verme, Aksiyomatik Tasarım

## **ABSTRACT**

### **AXIOMATIC DESIGN METHOD APPROACH IN INDUSTRIAL LATHE SELECTION**

In this thesis study; The selection of CNC (Computerized Numerical Control) Lathes, which are widely used for institutions and companies referred to as manufacturers in the industrial field, to perform manufacturing operations, was carried out with the help of Axiomatic Design methodology. Manufacturing companies are asked to manufacture parts from a group of stock materials to be produced by means of CNC Lathes. For the parts to be produced, the Machining method called the principle of removing unwanted parts from the stock materials and CNC Lathes are used. In order for the CNC Lathes to be used to perform the production to be able to perform the machine selection first and then the manufacturing of parts, field work was carried out through the designated manufacturing companies. In the field study carried out, a satisfaction survey was presented for the CNC Lathes used by the manufacturing companies. In the questionnaire, questions are asked about the choice of machine tools and the features of machining parts. According to the answers given, the Axiomatic Design method, which is one of the Multi-Criteria Decision-Making Methods, was used for a group of CNC Lathes on behalf of the parts to be processed and for their selection. By using the Functional Requirements and Design Parameters contained in the Axiomatic Design methodology, selection criteria have been created for companies that want to invest in CNC Lathes for machine selection, and these criteria are supported by numerical values.

Human beings produce parts in order to facilitate their work throughout the process of their existence. As the production and production progressed over time, the process started to be realized by means of machines. CNC Lathes are also one of the most widely used machines used throughout the production process. CNC Lathes, which are included in the machining manufacturing methods, are the process of removing parts from the surface of stock parts, which are called unprocessed or semi-finished products.

It is aimed to improve the production processes and increase the quality in the first periods when the Axiomatic Design method, which is one of the Multi-Criteria Decision-Making Methods, was introduced. With the spread of the method, the areas of use are also expanding and it is also used in the selection of a product.

In this thesis study, the selection of the CNC Lathe Machine that will perform the production of a group of parts was carried out through the Axiomatic Designing method. As a result of the selection of the CNC Lathe, the machine SME It is offered as investment advice to (Small and Medium-Sized Enterprises). The expected investment transaction was presented to the company officials and the investment decision to be made was left to the companies.

**Keywords:** Computer Numerical Control, CNC Lathe, Grouping Systems, Selection Criteria, Multi-Criteria Decision Making, Axiomatic Design

November, 2022

Koray KARŞILAYAN

## SEMBOLLER

|              |                                                |
|--------------|------------------------------------------------|
| $A_{CR}$     | : Ortak Aralığın Altında Kalan Taralı Alan     |
| $A_{ij}$     | : Tasarım Matrisi elemanları                   |
| $CR$         | : Ortak Alan, Common Range                     |
| $DR$         | : Tasarım Aralığı, Design Range                |
| $FG_i$       | : Fonksiyonel Gereksinim/ (İhtiyaç) elemanları |
| $I_j$        | : Enformasyon İçeriği elemanı                  |
| $I_{sistem}$ | : Sistem Enformasyon İçeriği                   |
| $K_s$        | : Özgül Kesme Kuvveti (N/mm <sup>2</sup> )     |
| $P_i$        | : Olasılıklar toplamı                          |
| $P_{i (j)}$  | : Olasılıkların Gerçekleştirilme Durumu        |
| $P_m$        | : Motor Gücü (kW)                              |
| $So_{yF}$    | : Sistem Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu          |
| $SR$         | : Sistem Aralığı, System Range                 |
| $S/N$        | : Sinyal/ Gürültü, Signal/ Noise               |
| $TP_j$       | : Tasarım Parametreleri elemanları             |
| $\sigma$     | : Standart Sapma                               |
| $n$          | : Devir sayısı (devir/dakika)                  |
| $v$          | : Kesme hızı (m/dakika)                        |
| $D$          | : Takım çapı (mm)                              |
| $a$          | : İlerleme miktarı (mm/dev)                    |

## KISALTMALAR

- AISI** : Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü, American Iron and Steel Institute
- AT** : Aksiyomatik Tasarım, Axiomatic Design
- C** : Kısıtlar, Sınırlar, Constraint
- CAD** : Bilgisayar Destekli Tasarım, Computer Aided Design
- CN** : Müşteri İhtiyaçları, Costumer Needs
- CNC** : Bilgisayarlı Sayısal Kontrol, Computer Numerical Control
- FG** : Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar)- Functional Requirements
- FMS** : Esnek Üretim Sistemi, Flexible Manufacturing System
- K** : Rijitlik
- KOBİ** : Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
- MIT** : Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Massachusetts Institute of Technology
- NC** : Numerical Control- Sayısal Kontrol
- OYF** : Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
- PV** : Süreç Değişkenleri, Process Variable
- TDK** : Türk Dil Kurumu
- TP** : Tasarım Parametreleri, Design Parameters

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. “Neye ulaşmak istiyoruz?” ile “nasıl ulaşıyoruz?” arasındaki haritalama olarak tasarımın tanımı ..... | 11 |
| Şekil 2.2. Aksiyomlarla Tasarım’ da enformasyon sahaları .....                                                   | 13 |
| Şekil 2.3. Aksiyomatik Tasarıma ait Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar) ve Tasarım Parametreleri.....         | 15 |
| Şekil 2.4. Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar) ve Fiziksel Parametreler ait Zikzaklama Yöntemi .....          | 17 |
| Şekil 2.5. Ayırık Tasarımın tablo halinde gösterimi .....                                                        | 22 |
| Şekil 2.6. Bağlı Tasarım diyagramı.....                                                                          | 24 |
| Şekil 2.7. Ayırıklaştırılmış Tasarım diyagramı .....                                                             | 25 |
| Şekil 2.8. Sistem aralığı ve tasarım aralığı alanları .....                                                      | 30 |
| Şekil 2.9. Hedef tasarım içerisinde tasarım aralığı-sistem aralığı ve ortak aralık.....                          | 32 |
| Şekil 2.10. Tasarım aralığı ve fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) matematiksel grafiği .....             | 34 |
| Şekil 2.11. Tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) .....            | 46 |
| Şekil 2.12. Tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) .....            | 48 |
| Şekil 2.13. Hedef tasarım açısından tasarım aralığı ve sistem aralığı .....                                      | 49 |
| Şekil 2.14. Sistem aralığı ve tasarım aralığı .....                                                              | 55 |
| Şekil 2.15. Tasarım aralığı ve sistem aralığı olarak Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu grafiği .....                  | 58 |
| Şekil 2.16. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu ve enformasyon ölçümü grafikleri.....                                   | 58 |
| Şekil 3.1. Tornalamada talaş kaldırma işlemi .....                                                               | 65 |
| Şekil 3.2. Tornalama işlemleri A)Boyuna, B)Alın, C)İç, D)Fatura veya Kesme, E)Konik, F)Vida.....                 | 67 |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.3.</b> CNC Torna Tezgâhı ve kısımları .....                        | 69 |
| <b>Şekil 3.4.</b> CNC Torna Tezgâhı .....                                     | 69 |
| <b>Şekil 3.5.</b> Memnuniyeti belirlemek adına kullanılan Linert Ölçeği ..... | 74 |
| <b>Şekil 4.1.</b> Endüstride kullanılan CNC Torna Tezgâhı örneği.....         | 79 |
| <b>Şekil 4.2.</b> Üzerinde kesici takım olmayan boş taret .....               | 80 |
| <b>Şekil 4.3.</b> Üzerinde kesici takımların yer aldığı taret .....           | 81 |
| <b>Şekil 4.4.</b> CNC Torna Tezgâhı kontrol paneli.....                       | 87 |
| <b>Şekil 4.5.</b> İş parçası ve ayna .....                                    | 89 |
| <b>Şekil 4.6.</b> AISI 4140 Çeliği .....                                      | 92 |
| <b>Şekil 4.7.</b> AISI 8620 Çeliği .....                                      | 94 |
| <b>Şekil 4.8.</b> AISI 4340 Çeliği .....                                      | 95 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 3.1.</b> Saha çalışmasında sorulan sorular .....                                             | 75  |
| <b>Tablo 3.2.</b> Saha çalışmasında kullanılan tezgâhlar ve alınan cevaplar .....                     | 76  |
| <b>Tablo 4.1</b> Torna tezgâhındaki işlenmesi istenen malzemelerin özellikleri ve stok ölçüleri ..... | 90  |
| <b>Tablo 4.2.</b> AISI 4140 parçasının yüzdece içeriği (%).....                                       | 91  |
| <b>Tablo 4.3.</b> AISI 4140 malzemenin mekanik özellikleri .....                                      | 93  |
| <b>Tablo 4.4.</b> AISI 8620 parçasının yüzdece içeriği (%).....                                       | 93  |
| <b>Tablo 4.5.</b> AISI 8620 malzemelerin mekanik özellikleri.....                                     | 95  |
| <b>Tablo 4.6.</b> AISI 4340 çeliğinin yüzdece bileşenleri (%).....                                    | 96  |
| <b>Tablo 4.7.</b> AISI 4340 çeliklerin mekanik özellikleri .....                                      | 96  |
| <b>Tablo 4.8.</b> İşlenmesi istenen iş parçalarının operasyonlar esnasında ki ölçüleri .....          | 97  |
| <b>Tablo 4.9.</b> İşlenmek ve üretilmek istenen parçalara ait işleme parametreleri.....               | 98  |
| <b>Tablo 4.10.</b> İşlenmesi istenen parçalar için tasarım aralığı.....                               | 99  |
| <b>Tablo 4.11.</b> Tezgâh kodları ve adları .....                                                     | 100 |
| <b>Tablo 4.12.</b> İşleme çapına göre enformasyon içeriği hesaplanması .....                          | 101 |
| <b>Tablo 4.13.</b> İşleme boyuna göre enformasyon içeriği hesaplanması .....                          | 103 |
| <b>Tablo 4.14.</b> Devir sayısına göre enformasyon içeriği hesaplanması .....                         | 105 |
| <b>Tablo 4.15.</b> İşlenecek parçalara ait işleme parametreleri.....                                  | 108 |
| <b>Tablo 4.16.</b> Fener mili gücüne göre enformasyon içeriği hesaplanması .....                      | 109 |
| <b>Tablo 4.17.</b> Torna tezgâhlarına ait toplam enformasyon içeriği .....                            | 110 |
| <b>Tablo 4.18.</b> CNC Torna tezgâhları için etki oranları (%) .....                                  | 112 |

## 1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinin gelişmesiyle beraber makine sektörü de endüstriyel anlamda oldukça etkin bir şekilde gelişme kaydetmiştir. Bu gelişmeler neticesinde parça imalatı esnasında istenilen teknik toleranslar artma eğiliminde olup bu tür parçaları üretmek adına firmalar belirli yöntem ve araştırmalar geliştirmektedir. Bu gelişimler sonucunda işlemleri ve üretimi yapacak makine ve tezgâhlar oldukça önem arz etmektedir. Endüstriyel alanda tedarikçi firmalar da tezgâh konusunda teknolojinin gelişmesine paralel olarak makinelerle ilgili belirli alanlarda gelişim ve faaliyetler göstermektedir.

Manuel olarak adlandırılan elle kontrollü tezgâhlar zaman içerisinde yerini Bilgisayarlı Sayısal Kontrol aracılığı ile kontrol edilmeye başlanmış ve üretim hızları büyük ölçüde arttırılmıştır. Üretim hızının artması endüstri alanında parça tedarikinde hızlanmalara etki etmiştir. Bu sonuçların etkin nedenlerinden birisi makine tezgâh teknolojisinin gelişmesidir. Tezgâh teknolojisinin gelişmesi endüstriyel firmalara da tedarik ve üretim hususunda oldukça kolaylık sağlamaktadır. Tezgâhların maliyetinin yüksek olması endüstriyel firmalar açısından karar mekanizmasının geliştirilmesini gerekli hale getirmektedir.

Endüstriyel alanda firma yatırımları Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri önceliğinde gerçekleştirilir. Gerek makinelerin maddi değerleri gerekse de istenilen parçaların yapılabilmesi ihtimali üzerine firmalar yatırım yaparken oldukça ince elenip sık dokurlar. Bunun gerçekleşmesi adına da çok kriterli karar verme sistemleri kullanılır. Çok kriterli karar verme sistemleri arasından Aksiyomatik Tasarım (AT) metodu oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanılmıştır.

AT yöntemi literatüre kazandırıldığı ilk yıllarda üretilen parçaların ve tasarımın iyileştirilmesi ile ilgilenirken üzerine yapılan çalışmalar ve geliştirilmeler neticesinde yaygınlığını arttırmıştır. Buna ek olarak AT metodu karar destek sistemleri arasında önemli bir pay sahibi olmaya başlamıştır.

### 1.1. Literatür Araştırması

AT metodu: 20. Yüzyılın son çeyreğinde ilk zamanlarda ürün tasarımına yönelik gelişmelerle ilgili olarak ortaya atılmıştır. Bu prensip zaman içerisinde birçok alanda uygulanmaya başlanmış zamanla kullanım alanları genişlemiştir.

Uygulama alanının genişlemesi sadece ürün tasarımını etkilememiş bu prensip kendi içerisinde de değişimlere uğramıştır. Ürünlerin yanı sıra sistemi, organizasyonları, imalat, esnek üretim sistemlerini, hücresel üretim ve ergonomi gibi birçok alana etki etmiştir ve çalışmalar yapılmaya başlamıştır [1].

Cochran ve Reynal; imalat sistemlerinin tasarımlarını gerçekleştirmek amacıyla AT metodu kullanmışlardır. Gerçekleştirilen çalışmada AT metodu iki farklı işlevsel gereksinimler (ihtiyaçlar), farklı üretim sistemleri için performans analizini gerçekleştirmek amacıyla kullanılmıştır [2].

Suh ve diğerleri; endüstriyel anlamda müşteri talepleri sonucunda alternatif bir üretim sisteminin tasarımını AT metodunu kullanarak gerçekleştirmiştir [3].

Babic; Suh' un geliştirdiği AT metodu vasıtasıyla Flexible Manufacturing System (FMS-Esnek İmalat Sistemi-EİS) tasarımı amacıyla geliştirilen bir zekâ sistemi (FLEXY) içeren çalışmalar gerçekleştirmiştir [4]. Bröte ve diğerleri hücresel üretim çalışmalarında AT metodundan faydalanmıştır [5].

Cochran ve diğerleri; üretim konusunda organizasyon yapısında yalın yönetim ve değişim yönetimi prensiplerini kullanarak AT metodu yöntemi ile oldukça faydalı bir üretim sistemi tasarımı hedeflemiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada üretim sistemi küçük, hareket kabiliyeti yüksek ve tek merkezden yönetilme gereksinimi (ihtiyacı) duyulmayan üretim sistemlerine dönüştürülebilen bir çalışma ortaya koymuşlardır [6].

Chen ve diğerleri; hücresel üretim performansını iyileştirmek adına bir çeşit simülasyon aracılığı ile AT metodu vasıtasıyla bir tür karar destek sistemi geliştirmiştir [7]. Werneman ve diğerleri; AT metodu aracılığıyla operasyonel gelişim prototipi geliştirmiştir [8]. Cha ve Moon; AT metodu aracılığıyla hava değişim-dağıtım sistemi tasarlamışlardır [9]. Engelhardt; sistem ve ürün geliştirilmesi hususunda AT metodundan faydalanmıştır [10].

Suh; AT yöntemi amaç ve uygulamaları içerisinde tasarımı gerçekleştiren kişilere mantıksal ve teoriksel fikir verme süreçleri sunmuştur. Yapılan çalışmada tasarım hususunda gerçekleştirilen çalışmalara bilimsel anlamda bir yapı taşı olmuştur [11].

MIT’ den Prof. Nam P. Suh Aksiyomatik Tasarım metodu teorisini, 1990 yılında literatüre kazandırmış olduğu yayında ve Principles of Design kitabında örnekler ve uygulamalar ile açıklamaktadır. Bu duruma ek olarak AT metodunu yeniliğinin sahip olduğu üç kanunu tanımlamaktadır [12]. Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan AT metodu seçme, sıralama ve sınıflandırma konularında yenilik ortaya koymuş olup bu üç konu hiyerarşi içerisinde kanun hükmündedir.

Aksiyomatik Tasarım metodu ile ilgili olarak detaylı olan açıklamalarla örneklemeleri ortaya koyduğu fikirleri literatüre kazandırmaktadır ve karar destek sistemleri arasında önemli bir pay sahibi olmaya başlamıştır [13].

Cotoia ve Johnson; gerçekleştirdiği araştırmada sistemlerin belirli bölgelerinde problem oluşturan bir prosesi incelemiş ve prosesi AT metodu prensiplerinden faydalananarak çözmeye çalışmışlardır [14].

Baxter ve diğerleri; AT metodu kuralları aracılığı ile tedarik zincirinin birçok parçalarının ekonomik değerlerinin ve ulaştırılma süreçlerinin analizlerinin yorumlanmasını gerçekleştirmiştir [15].

Housmand ve Jamshidnezhad; Yalın Üretim Sisteminin kavramsal tasarımı ile ilgili yaptığı çalışmada AT metodunu kullanmıştır [16]. Hwang ve diğerleri; AT yönteminin fonksiyonel ihtiyaçlarını karşılaştırılarak bu ihtiyaç kriterlerinin bağımsızlığının, tasarım kalitesinin etkilerinin belirlenmesine yönelik önem kriterlerinin belirlenmesini incelemiş ve çalışmalar yürütmüştür [17].

Kim; AT metodu aracılığı ile üretim sistemlerinin tasarımı ve ürün tasarımının geliştirilmesini amaçlamıştır. Yapılan çalışmada yeni ürün gelişimi prosesinde tasarımı olumsuz etkileyen problemleri tasarımın iyileştirilmesi adına belirlemeye çalışmış, bu problemleri en aza indirmek ve oluşabilecek sorunları çözmeyi hedeflemiştir [18]. Durmuşoğlu ve Kulak; hücresele üretim tasarımı için aksiyomatik tasarım yönteminden faydalanmış ve bu alanda geliştirmeleri içeren bir rehber sistem ortaya çıkarmışlardır [19,20]. Pappalardo ve Naddeo; AT metodu aracılığı ile hata etkileri analizi hususunda çalışmalar gerçekleştirmiştir [21].

Yaşar ve diğerleri; Enformasyon Yönetimi konusunda AT metodunu kullanmış olup enformasyon yönetim sistemi geliştirmiştir [22]. Kulak ve diğerleri; hücresel üretim sistemi kurulumu için çok kapsamlı bir yol haritasını AT metodu vasıtasıyla gerçekleştirmiştir [23]. Kabadurmuş ve Durmuşoğlu; yalın üretim sistemi türlerinden birisi olan kanban (çekme) üretim kontrol sisteminin tasarımı için AT metodundan faydalanmıştır [24]. Tarcan; bir grup dizüstü bilgisayar sistemi oluşturmuş ve seçilimi gerçekleştirmek adına AT metodunun Enformasyon Aksiyomunu kullanmıştır [25].

Thielman ve Ge; mühendislik sistemlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi konusunda AT metodunu uygulamışlardır [26]. Birgün; yalın üretime geçiş aşamalarında değer akışını haritalandırmak adına AT metodundan faydalanmıştır. Yapılan çalışmada endüstriyel fayda sağlayan firmalara üretimin daha verimli ve sistematik çalışmasını gerçekleştirecek bir rehber sistem oluşturmuştur [27].

Yılmaz; yaptığı çalışmada kent içi toplu taşıma sisteminin tasarımının oluşturulmasında AT metodundan faydalanmıştır [28]. Özel ve Özyörük; beyaz eşya faaliyet gösteren firmalar için ısı rezistansı üretimi gerçekleştiren tedarikçiler arasından seçim yapmışlardır. Bu seçimi gerçekleştirmek adına Analitik Hiyerarşi Prosesi ve AT metodundan faydalanmıştır [29]. Özyiğit; yaptığı çalışmada belirlenmiş değerler ışığında bir grup kontrol sistemi belirlemiş ve bunlar içerisinde en iyi kontrol sistemi seçimini ve tasarımını AT metodu kullanarak gerçekleştirmiştir [30].

Özel ve Özyörük; hiyerarşik tedarikçi firma seçimine yönelik yapılan çalışmada AT metodundan faydalanmış olup, bu seçimi gerçekleştirmek adına enformasyon aksiyomunu kullanmışlardır. Yapılan çalışmada bir tür karar destek sistemi oluşturmuşlardır ve tedarikçiler arasında en az enformasyon içeriğine sahip tedarikçi firmayı seçmeye yönelik bir sistem oluşturmuşlardır [31]. Gülen ve Birgün; Key-Value Store olarak adlandırılan veri depolama paradigması modeli için kurumsal enformasyon sistemi alanında AT metodundan faydalanmışlardır [32]. Birgün ve Kulaklı; müşteri merkezli ve odaklı enformasyon yönetimi oluşturmak adına AT metodundan faydalanmışlardır [33].

Kanbur ve Birgün; yeni kariyere geçiş danışmanlığının geliştirilmesi adına bilimsel anlamda bir yapı taşı oluşturmak adına kavramsal bir modeli AT metodu aracılığı ile incelemiştir [34].

Çebi ve diğerleri; bütünleşmiş bakım ve onarım sisteminde AT metodunun Enformasyon Aksiyomu aracılığıyla incelemiştir. Gerçekleştirilen çalışmada endüstriyel fayda sağlayan gemiler için daha geniş kapsamlı ve daha etkin bakım-onarım sistemi oluşturmuşlardır [35]. Urbanic ve diğerleri; tersine mühendislik yöntemiyle üretilmesi planlanan bir parçanın üretiminde AT metodu kullanmışlardır. Gerçekleştirilen çalışmada çoklu üretim için tasarım değişkenlerini belirleyen ve tasarımı iyileştiren, çok fonksiyonlu, sağlıklı, güvenilir hale getirmişlerdir. Buna ek olarak data devşirmek amacıyla oluşturulmuş bir sistem tasarımı geliştirilmişlerdir [36]. Çelik ve Er; AT metodu vasıtasıyla model seçim dizilimini gerçekleştirmişlerdir [37]. Çelik ve diğerleri; AT ve bulanık Topsis sistemi vasıtasıyla deniz taşımacılığı şebekesinde rekabetçi ve yarışmacı sistem kurmayı hedeflemişlerdir [38].

Bang ve diğerleri; AT metodu vasıtasıyla parça üretimi aşamasında kullanılan soğutma sıvılarının güçlendirilmesinde nano akışkan materyal tasarımının yeniden oluşturulmasını gerçekleştirmişlerdir [39].

Özbek; AT metodu aracılığı ile plastik enjeksiyon makinelerinin seçimini incelemiştir [40]. Yavuz; yaptığı çalışmada makine ekipman seçimine yönelik araştırmalarını AT aracılığı ile tamamlamıştır [41]. Güngör; endüstride oldukça geniş bir alana sahip olan sızdırmaz conta malzemesinin seçimine yönelik yaptığı çalışmada AT metodundan yararlanmıştır [42].

Feyzioğlu; yaptığı çalışmada endüstriyel alanda oldukça yaygın bir kullanıma sahip olan mekanik yay tasarımını AT metodunu kullanarak gerçekleştirmiştir [43]. Ulutürk ve diğerleri; savunma alanında yaptığı çalışmada yenilikçi ürün gelişimini AT metoduna bağlı olarak incelemiş ve ürün geliştirme anlamında bir sistem tasarımı ortaya koymuştur [44].

## **1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı**

Bu tez çalışmasında CNC Torna Tezgâhlarında üretilmek istenen birden fazla grup parçanın hangi tür tezgâhlarda işlenebilirliğini öğrenmek ve seçimini gerçekleştirmek hedeflenmektedir. CNC Torna Tezgâhında işlenebilirliği oluşturmak adına literatürde çok kriterli karar verme metodlarından biri olan ve AT olarak adlandırılan bir hiyerarşi kullanılmıştır.

AT metodolojisinin ve üretimi planlanan ürünlerin gerçekleştirildiği Bilgisayarlı Sayısal Kontrol Torna Tezgâhlarının seçimi incelenmiştir. Bu seçime etki eden faktörler saha üzerinde yetkililerce cevaplanacak olan anket sonucunda ve tasarım kriterlerinin öncülüğünde belirlenecektir.

Tasarım kriterlerinin belirlenmesi sonucunda AT metoduna ait nitel ve nicel kriterleri kullanılarak bir çözüm hiyerarşisi oluşturulacaktır.

Benzer özelliklerde olan referans olarak kabul edilen CNC Torna Tezgâhları arasından bir seçim sistemi oluşturulacak olup bu sistem Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelere yatırım tavsiyesi olarak sunulacaktır.

### **1.3. Tezin Yapısı**

Günümüz dünyasında endüstriyel firmalar birbirleri ile sürekli rekabet halindedir. Müşteri taleplerini karşılamak adına bu durum olmazsa olmaz bir hale gelmektedir. Müşteri talepleri teknolojinin gelişmesi ile beraber üretimi yapılacak parçalar için teknik anlamda tolerans diye adlandırılan parça üretimini zorlayacak istekler ve gereklilikler istenmektedir. Teknik toleransların artması parça üretimini daha hassas ve dikkat içeren çalışmaların yapılmasını gerekli hale getirmektedir.

Parça üretimini zor hale getiren durumların sonucunda parça üretiminin olmazsa olmaz bir ögesi olan tezgâhlar ya da makineler üretici firmalar açısından oldukça önem kazanmaya başlamıştır. Bu tezgâhlarda teknolojinin gelişmesi ile beraber kendini geliştirme fırsatı bulmuştur.

Üretimci ve tedarikçi firmaların tezgâhları geliştirmeleri sonucu maddi anlamda tezgâh değerleri artmaktadır ve bu değerler endüstriyel firmalar açısından ciddi yatırımlar gerektirmektedir. Üretici firmalarda yatırım konusunda gerek barındırdığı çalışanların fikir üretimi gerekse de karar verme sistemleri aracılığı ile yatırım yapmaktadır.

AT yöntemi çok kriterli karar verme sistemlerinden biri olup ortaya atıldığı ilk zamanlarda tasarımı iyileştirmek olmuştur. Bu metot zaman içerisinde sadece tasarımı iyileştirmemiş yatırımları da etkilemeye başlamıştır.

Yapılan bu çalışmada CNC Torna Tezgâhlarının AT aracılığı ile seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada birinci bölümde konu ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde ise AT metodolojisi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bölüm üçte ise CNC Torna Tezgâhları ve tezgâh seçimi üzerine yapılacak saha çalışmaları anlatılmış olup bulgular ortaya konmuştur.

Bölüm dört olarak adlandırılan bulgular ve tartışma bölümünde ise saha çalışması sonucunda karşılaşılan bulguların CNC Torna Tezgâhları seçimi üzerinde yer alan sonuçları görülmüştür. Sonucalar ışığında üretimi talep edilen parçaların imalatını gerçekleştirebilmek adına tezgâh seçimine yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bölüm beş olarak adlandırılan sonuç ve öneriler kısmında ise karar destek sistemi sonucunda CNC Torna Tezgâhı seçimi konusunda bir öneri oluşturulmuş olup endüstriyel saha yer alan KOBİ ve yatırımcılara öneriler sunulacaktır.

## 2. AKSİYOMATİK TASARIM

Bu bölümde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan AT metodolojisi üzerinde durulacaktır. AT metodunun ilke ve hiyerarşisini aktarılacaktır. CNC Torna Tezgâhı seçiminde AT metodunun entegrasyonu ve ilişkisi aktarılacaktır. Bu bölüm dört başlık altında aktarılacak olup AT metodu İlkeleri, AT'ın Hiyerarşisi, Tek FG' li (Fonksiyonel Gereksinim'li/ İhtiyaç'lı) Tasarım ve Aksiyomatik Enformasyon İçeriğine Yeni Yaklaşımlar olarak ele alınacaktır.

### 2.1. Aksiyomatik Tasarı İlkeleri

AT ilkelerinin giriş kısmında Tasarım ve Tasarımcı, AT metodunun Amacı ve AT Alanları olarak metodoloji ile ilgili başlangıç yapılacaktır.

*AT metodu Tasarım ve Tasarımcı*

Tasarım neye denir? Tasarım nasıl gerçekleşir? Tasarımı yapan (Tasarımcı) kimdir?

Tasarım konusu ilgili alana ve kullanım alanına göre çeşitli tanımlar içermektedir. Öncelikle Türk Dil Kurumu (TDK) 'ya göre tasarım: Zihinde canlandırılan biçimdir. TDK' da ki diğer bir tanıma göre; Bir sanat eserinin, yapının ya da teknik ürünün ilk taslağı, dizayn anlamına gelmektedir [45]. Tasarım kelime anlamının yanı sıra; bir ürünün tümü veya bir parçasının ya da üzerindeki yüzeysel süslemelerinin;

- Çizgi
- Şekil
- Biçim
- Renk
- Malzeme
- Yüzey dokusu gibi özelliklerinden kaynaklı görünümüne de verilen tanımdır.

Açıklanan tanımlarda ise ürün: bilgisayar programları haricinde endüstriyel yollarla veya elle üretilen herhangi bir nesnenin yanı sıra birleşik bir sistemi oluşturan parçalar bütününe denilmektedir. Buna ek olarak ürün bir sistemde olabilir ya da bir sistemin parçası da olabilmektedir.

Tasarlanan ürünler markalar oluştururlar. Bu markaların korunması adına patent adı verilen sertifikasyonlar yer alır. Böylelikle tasarımlar uzun sürede korumaya alınır ve kendilerini yenileyerek geliştirilmeye açık hale gelir.

#### *Tasarımın önemi*

- Marka bilinirliğini sağlar.
- Üreticinin kimliğini gösterir.
- İşlevsel ve görsel yenilik sağlar.
- Endüstriyel anlamda maliyeti düşürür.
- Endüstriyel piyasada rekabet gücünü artırır.
- Yenilik ve farklılık sağlar.
- Memnuniyet sağlar ve iyi hissettirir.

Temel anlamda tasarım ilk taslak anlamına gelmesine rağmen kullanım alanlarına bağlı olarak farklı farklı anlam ve işlev kazanmaktadır. Genel manada Makine Mühendisleri mesleki açıdan genellikle ürünler tasarlarlar ve makine mühendisleri için tasarım denildiğinde akla ilk gelen bir ürünün ya da sistemin tasarımıdır. Makine Mühendisliğinin alt dallarından birisi olan İmalat Mühendisleri açısından tasarım ise yeni imalat prosesleri (süreçleri) ve sistem sınırları içerisinde yer alan operasyonel bütünlüğü işaret eder. Elektrik Mühendisleri açısından tasarım; kullanılan analog ve dijital elektronik devrelerin, işletim sistemlerinin ve bilgisayar donanımlarının yerleştirilmesi ile beraber teknik manada bir sistemin devreye alınmasını ifade eder. Sistem Mimarları açısından tasarım ise; amaçlanan hedefler doğrultusunda gerçekleştirilen sistemlerin verimliliği için teknik ve teknik ve organizasyonel sistemleri oluşturan çeşitli parçaların yerleştirilmesi ve beraber çalışmasını ifade etmektedir.

Toplumumuzda Yazılım Mühendisleri için iş tanımının bilgisayar kodu yazıldığı düşünülse de sektörel anlamda Yazılım Mühendisleri sistemleri oluşturmak adına bir şablon ve yapı tasarımı yaparlar, sistemin hedeflerini belirler ve bunun sonrasında gerçekleştirilecek iş için bilgisayar kodlarının yazımına başlar.

Endüstriyel anlamda İşletme Yönetimi açısından tasarım; organizasyonlar açısından planlanan hedeflere ulaşmak amacıyla organizasyonu oluşturan parça ve sistemleri tasarlar ve sistemi oluşturur. Mimari açıdan İç Mimarlar bir bina, ev ya da yapı açısından en ideal ve elverişli ortamı sağlamak adına dekoratif parçaların oluşturduğu görsel bütünlüğü tasarlar ve yerleştirir.

Çevre ve Şehir Planlama Uzmanları açısından tasarım; bir yerleşimin ulaşımını ve yerleşim yerlerinin en kolay, etkili ve verimli idari organizasyonları gerçekleştirir.

Yukarıdaki etkinliklerin sahip olduğu içerikler ve hedeflenen konuma ulaşılması için gerekli olan enformasyon içerikleri kendine özgüdür fakat bütün bu faaliyetler birer tasarım aktiviteleridir. Organizasyonlar farklı veri ve tasarım uygulamalarından faydalanmasına rağmen temelde birçok tasarım özelliklerini taşırlar. Bu organizasyonlarda ortak olan özellikler ve tasarımı gerçekleştirecek bireylerin (tasarımcının) yapması gereken işlemler:

- Müşterilerin ihtiyaçlarının anlaşılması
- Müşteri ihtiyaçlarının karşılanması adına çözüm bulunması gereken problemlerin tanımlanması
- Çözümün sentez yoluyla kavramsallaştırılması
- Çözüm önerilerinin optimizasyonu için analizlerin gerçekleştirilmesi
- Müşteri ihtiyaçlarının tam anlamıyla karşılanması adına tasarım çözümlerinin sonuçlarının karşılaştırılması

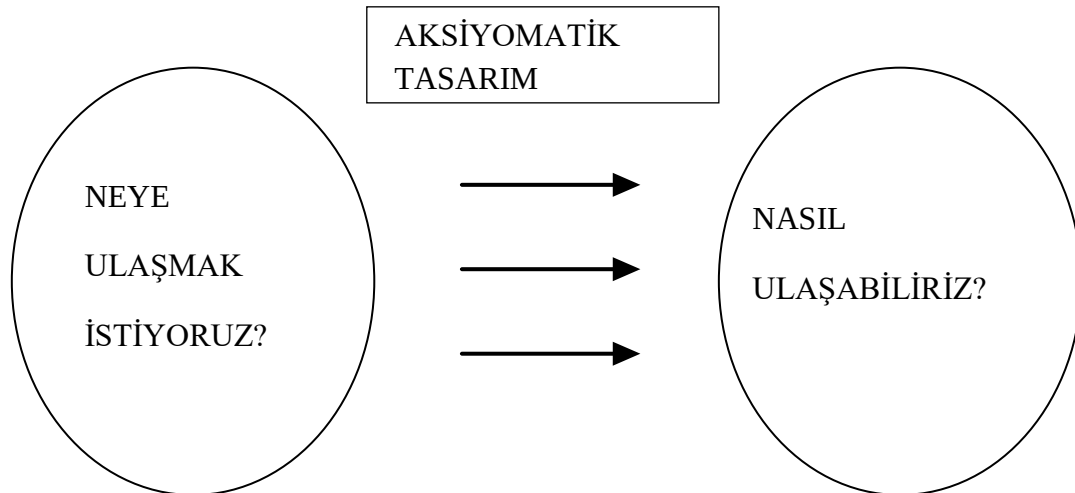
Tasarım temel olarak sorulan iki soruya sahiptir. Bunlar “Neye ulaşmak istiyoruz?” ve “Nasıl ulaşabiliriz?” sorularının etkileşimi sonucunda ortaya çıkan eylemler bütünüdür. Gerçekleştirilmesi beklenen tasarımın başarılı sonuçlara ulaşması adına “Neye ulaşmak istiyoruz?” sorusu iyi anlaşılmalıdır. Tasarım sürecinin başlatılması adına bu soruya açık, net ve belirgin cevaplar aranılır. “Nasıl ulaşabiliriz?” cevabı da bizlere tasarım süreci ve operasyonlar açısından enformasyon vermekte olup tasarım sürecinin sonlandırılmasını sağlamaktadır.

“Ne yapmak istiyoruz?” sorusu ile müşteri ihtiyaçları belirlenir. Belirlenen müşteri ihtiyaçları neticesinde bu ihtiyaçları karşılamak adına fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ortaya çıkar.

FG’ leri minimum teknik şartnamelere (spesifikasyonlara) dönüştürülmesi işlemleri gerçekleştirilir. Tasarımın önemli diğer bir sorusu olan “Nasıl ulaşabiliriz?” sorusuna verilecek cevapları açıklayacak olan kavram ise Tasarım Parametrelerini (Design Parameters-TP) oluşturmaktadır.

Tasarımcılar açısından birçok zaman “Neye ulaşmak istiyoruz?” sorusunun tanımını bulmak zor bir işlemdir. Alanında uzman birçok tasarımcı bile kesin tasarım hedeflerinden saplamalar yaşamaktadır. Önceden belirlemiş oldukları tasarım hedeflerini belirlemiş olarak tasarım çözümleri üzerinde çalışmalarını tekrardan yenileyerek çalışmaya başlamaktadırlar.

Tasarımcılar; müşteri ihtiyaçlarını, tasarım hedefleri ile beraber hayal gücünü karşılaştırarak prosesin başarısını ölçmektedirler. Tasarımcılar gerçekleştirmek istedikleri ile beraber en iyi zamanlamayı bir noktada birleştir ve istenilen çözümü tasarlayana kadar hedeflenen tasarımı geliştirmeye ve yenilemeye kadar süreci yenileyerek devam ederler. İhtiyaçların giderileceği zamana kadar devam eden tasarım onay aldıktan sonra gerçekleştirilmesi adına hayata geçirilir. Aksiyomatik tasarıma yönelik diyagram Şekil 2.1’de yer almaktadır [11].



**Şekil 2.1.** “Neye ulaşmak istiyoruz?” ile “nasıl ulaşırız?” arasındaki haritalama olarak tasarımın tanımı

AT metodunun amacı yinelemelerin sayısının çözüme indirgenerek daha iyi çözümler bulmaya yardımcı olmayı hedeflemektedir. AT'ın geliştirilmesi, sistem tasarımının çeşitli seviyelerde karar vermeyi mümkün kılarak sistemin performansında ve kalitesinde belirsizlik olasılığını azaltmaktadır. AT, aynı zamanda birçok işlevsel ya da fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) karşılamamanın sistematik bir yolunu, işlevlerin birleştirilmesini ve entegre fiziksel sistemler oluşturmada sağlar.

Bu sürecin geliştirildiği Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology- MIT) 'den Profesör Nam Suh 'un sözleri ile:

“AT yöntemleri, tasarımı daha yaratıcı hale getirmek, rastgele çözüm arama sürecini azaltmak, yinelemeli deneme yanılma süreçlerini en aza indirmek ve önerilenler arasında en iyi tasarımı belirlemek için çalışır...”

AT da fonksiyonel ihtiyaçların sınırlarının belirlenmesi ve gerçekleştirilecek tasarımın ana hedeflerini kesinleştirilmiş formüller ile beraber anlatmayı gerektirir.

## **2.2. Aksiyomatik Tasarımın Hiyerarşisi**

AT metodunda 4 ana kavram bulunmaktadır.

- Alanlar ve haritalandırma
- Hiyerarşiler
- Zikzak çizme
- Tasarım aksiyomları

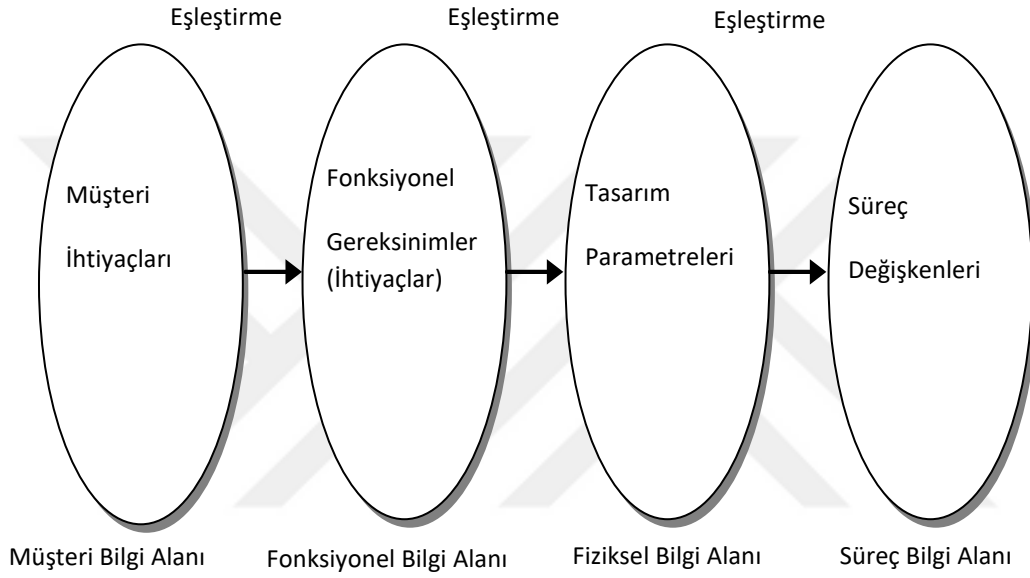
Bu kavramlar aşağıda alt başlıklar halinde açıklanacaktır.

Saha Kavramı: Tasarım problemleri genel anlamda dört alana bölünebilmektedir. Bu problemlerin etki alanlarının sayısı dörtte sabit kalmaktadır fakat her alandaki tasarım öğelerinin doğası, tasarım problemlerinin alanına bağlı olarak değişmektedir.

Buradaki dört genel alan;

- Müşteri Alanı
- İşlevsel Alan
- Fiziksel Alan
- İşlem Alanı'dır

Aksiyomatik Tasarıma ait olan bu alanlar Şekil 2.2'de gösterilmektedir [11].



**Şekil 2.2.** Aksiyomlarla Tasarım' da enformasyon sahaları

Her alanla ilgili olarak birbirleri ile ilişkili tasarım öğeleri mevcuttur. Listelenen sıra ile her bir alanla ilişkili öğeler;

- Müşteri İhtiyaçları: Costumer Needs (CN)
- Fonksiyonel Gereksinimler/ İhtiyaçlar (FG): Functional Requirements
- Tasarım Parametreleri (TP): Design Parameters
- Süreç Değişkenleri: Process Variable (PV) açısından müşteri ihtiyaçlarıdır. Bu öğelere ek olarak kabul edilebilir çözümlere sınırlar belirleyen Kısıtlar: Constraint (C) bulunmaktadır.

Saha kavramı ile beraber tasarım ögelerinden ve haritalandırmadan bahsedilmişti. Burada yer alan kavramların tanımlamaları açıklanacaktır.

Aksiyom (axiom/postulat): Doğruluğu ispat edilemeyen veya ispatına gerek duyulmayan ancak buna rağmen doğruluğu kabul edilen önermelere denir. İspatı ya da istisnası olmayan belirli ve asıl gerçektir.

Teorem: İspatlanmamış fakat kabul edilen aksiyomlar ile kanıtlanabilen ve böylece bir kural veya özellik olarak belirlenen önerilere denir. Doğruluğu ispat edilebilen önermelerdir.

Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar): Fonksiyonel alanlarda ürünlerin (yazılım, organizasyonlar, sistemler...) fonksiyonel ihtiyaçları tümüyle tanımlayan bağımsız ihtiyaçların tümüdür.

Kısıtlar (Constraint): Onaylanabilir problem çözümleri için gerekli bulunan sınırlamalara denilmektedir. Tasarım özelliklerini sınırlandıran girdi kısıtları, üretim özelliklerini sınırlandıran sistem kısıtları olarak sınıflandırılmaktadır.

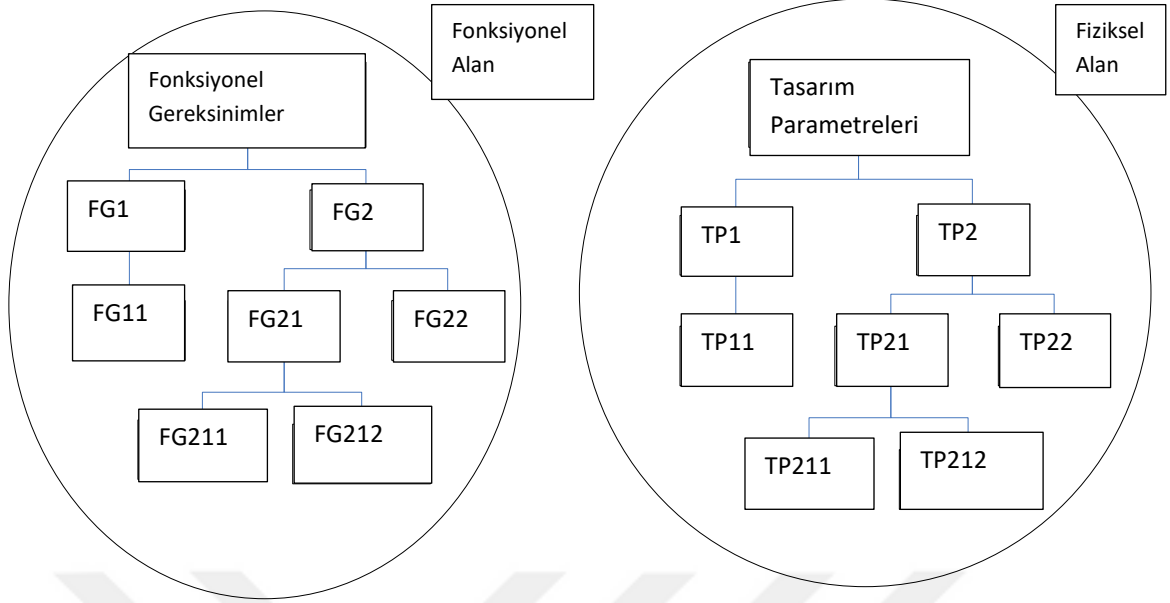
Tasarım Parametreleri: Fiziksel sahada belirlenmiş olan fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) karşılayan ve tasarımı tanımlayan fiziksel değişkenlerin çözüm noktasıdır.

Süreç Değişkeni: Süreç enformasyon alanında belirlenmiş olan tasarım parametrelerinin ortaya çıkardığı ve süreci tamamlayan veri ve dataların çözüm noktasıdır [11].

### **2.2.1. Eşleştirme ve Fonksiyonel Gereksinimlere (İhtiyaçlara) Karşı Müşteri İhtiyaçları**

AT hiyerarşisi sürecinde başlangıç noktası olan ilk soru: “Neye ulaşmak istiyoruz?” ve bunun devamında süre gelen ikinci soru: “Nasıl ulaşabiliriz” soruları arasında bir proses oluşumudur. Burada yer alan ilk soru aracılığı ile fonksiyonel alanlar oluşmaktadır. Sonrasında yer alan ikinci soru ile beraber tasarım parametrelerinin oluşturduğu fiziksel alanlar oluşmaktadır. Fonksiyonel alanlar ile fiziksel alanların arasındaki bağlantıların birbirleri ile ilişkilendirilmesi sonucu oluşan proses AT metodunu tamamlar.

Fonksiyonel alan denilince; problemin çözümü için gerekli bulunan veya görülen ve birbirine bağlı bulunmayan fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) süreci oluşturmaktadır. Hedef tasarım konusunda yer alan bu süreç Şekil 2.3’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.3.** Aksiyomatik Tasarıma ait Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar) ve Tasarım Parametreleri

Burada tasarım parametreleri ile süreç arasında ilişkilendirilmeler mevcuttur. “Neye” ve “Nasıl soruları arasındaki bağlantıların oluşturulması ve çözümü noktasında haritalandırma bir diğer ifade ile mapping oluşturulmaktadır [7].

**Kavram Tasarımı:** Müşteri sahası ile fonksiyonel saha aralığında yer alan haritalandırmaya denir.

**Ürün Tasarımı:** Fonksiyonel saha ile fiziksel saha aralığında yer alan haritalandırmaya denir.

**Süreç Tasarımı:** Fiziksel saha ile süreç sahası aralığında yer alan haritalandırmaya denir.

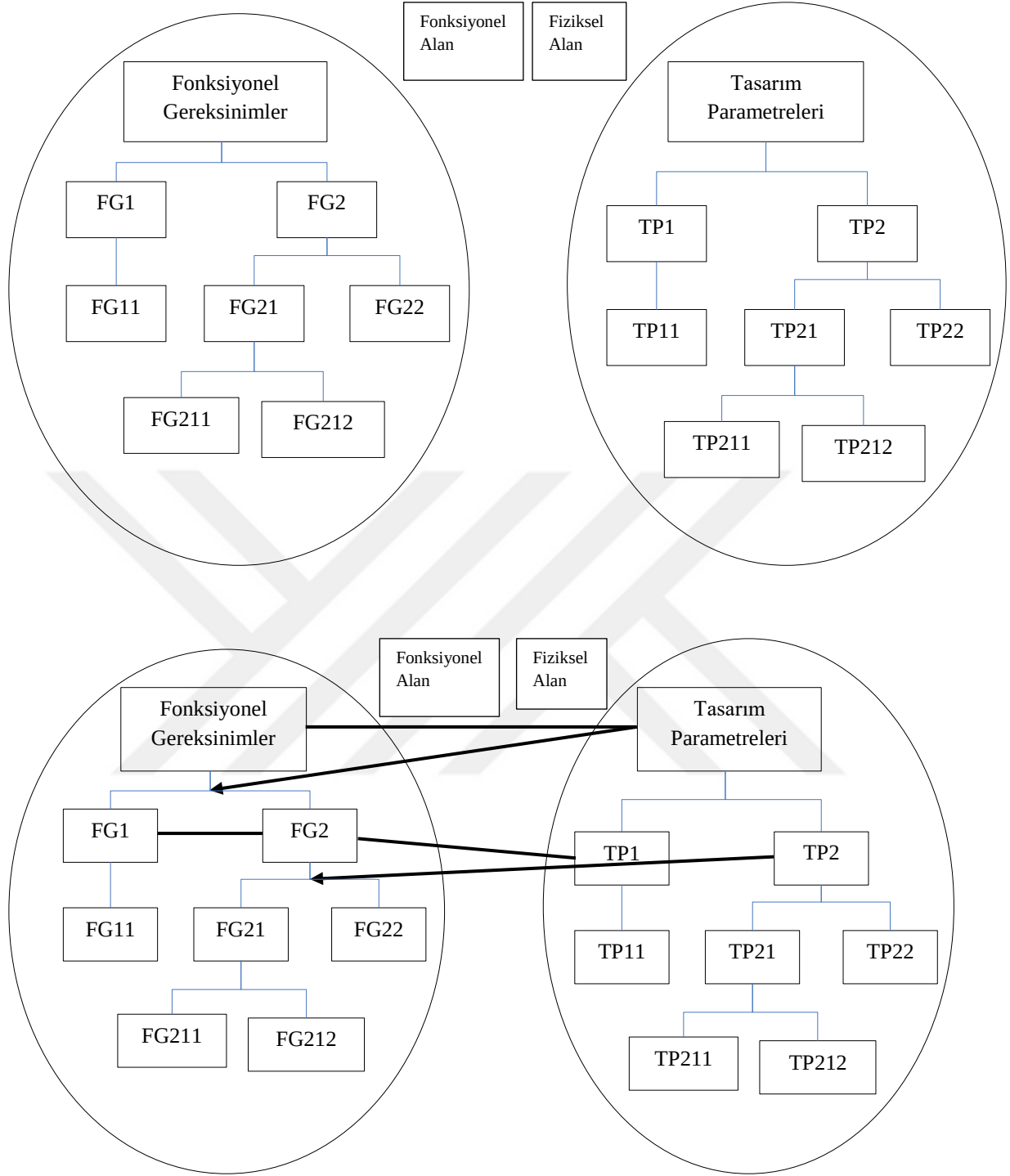
**Tasarım Hiyerarşisi:** Tasarım prosesi süreci boyunca üst kısımlardan alt kısımlara daha detaylı olarak adım adım gelişmesine denilmektedir.

Gerçekleştirilmesi hedeflenen her tasarım için amacına yönelik bir enformasyon alanı ve bu alanlar arasında hiyerarşi (sıralama) bulunmak zorundadır [20].

### 2.2.2. Analitik Hiyerarşi Sürecinin Uygulama Adımları

- Hiyerarşinin oluşturulması
- İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması (fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak)
- Normalizasyon işlemi
- Tutarlılık kontrolü
- Alternatiflerin karşılaştırılması
- Son adım (karar verme)

Zikzak Çizme (Zıgzagging): AT' ye ait ana kavramlarından biri olan zikzak çizme kullanıcıya bir önemli ölçüde fayda sağlamaktadır. Zikzak çizme işlemi; tasarımın etki alanını oluşturan fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ile tasarım parametreleri arasında dönüşümlü olarak sıralama ve etkileşim süreçlerini açıklar. Fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) ve tasarım parametrelerini her bir düzeyde karşılaştırma yapar ve herhangi bir karışıklık olmasına müsaade etmemektedir. Yedekli olarak bulunan fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar); birden çok fonksiyonel gereksinimi (ihtiyaçları) yerine getirmek için kullanılacak olan bir tasarım parametresinin ortaya çıkması sonucu kolaylıkla tanımlama yapılabilmektedir. Bu nedendir ki fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) sayıca adedi de zikzak çizim metodu sonucunda en aza indirgenmektedir. İndirgenen fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ve zikzak yöntemi kullanılarak Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



**Şekil 2.4.** Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar) ve Fiziksel Parametreler ait Zikzaklama Yöntemi

Şekilde bir fonksiyonel gereksinimden (ihtiyaçlardan) bir tasarım parametresi ağacının oluşturulması için kullanılan zikzak çizme işlemi belirtilmiştir [11].

### 2.2.3. Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar)

Tasarımı gerçekleştirilmek istenen bir ürün, sistem ya da prosesi gerçekleştirmek için tayin edilen şartlar, fonksiyonel gereksinimlere (ihtiyaçlara) indirgenmektedir. Fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) bütünüyle tasarımın amacını tayin eden kullanıcı ya da müşteri istekleri doğrultusunda oluşturulmuştur.

Oluşturulan fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) en az sayıyı içeren bağımsız ihtiyaçların yer aldığı kümedir. Bu durumda oluşturulan her bir fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) kümesi diğer fonksiyonel gereksinimlerden (ihtiyaçlardan) bağımsız olarak yer almaktadır.

Hedeflenen tasarım aşamasında veya sürecinde fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) neyin başarılmak istendiğini açıklamaktayken; tasarım parametreleri ise fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) nasıl gerçekleştirilmesini açıklamaktadır [11].

### 2.2.4. Aksiyomlar (Postulatlar)

Tanımlar kısmında da yer alan aksiyom doğruluğu ispat edilemeyen veya ispatına gerek duyulmayan ancak buna rağmen doğruluğu kabul edilen önermelere denilmektedir. Hedeflenen en iyi tasarım için AT; iki aksiyom tarafından ilişkilendirilir.

Birinci aksiyom; fonksiyonel ve fiziksel gereksinimlerin (ihtiyaçların) birbirleri ile olan ilişkileri irdelemektedir. İkinci aksiyom ise; hedef tasarımın karmaşıklığını irdelemektedir [1].

Bunlardan birincisi bağımsızlık aksiyomu, ikincisi enformasyon aksiyomu olarak adlandırılmaktadır.

**Bağımsızlık Aksiyomu (Independence Axiom):** Fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) yer aldığı kümenin bağımsızlığını sağlamaktadır.

**Enformasyon Aksiyomu (Information Axiom):** Hedef tasarımın enformasyon içeriğini en aza indirmektedir.

#### 2.2.4.1. Bağımsızlık Aksiyomu

Aksiyomatik Tasarım yönteminin aksiyomlarından biri olan bağımsızlık aksiyomu tasarım prosesi basamakları boyunca fonksiyonel enformasyon alanında yer alan fonksiyonel ihtiyaçların, gereksinimlerin (ihtiyaçların) fiziksel enformasyon alanında yer alan tasarım parametrelerine haritalandırma da yer alan zikzak çizme sırasında takip edilmesi gereken yol olarak adlandırılabilir [34]. Bağımsızlık aksiyomunda, fonksiyonel enformasyon alanında bulunan fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ile fiziksel enformasyon alanında bulunan tasarım parametreleri arasındaki zikzak çizme sonucunda oluşan tasarım sürecinin gerçekleştirilmesidir. Bu tasarım süreci matematiksel olarak ifade edilmektedir. Matematiksel ifade de fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) “FG” adıyla “m” bileşenli bir vektör olarak gösterilir. Fiziksel enformasyon sahasındaki tasarım parametreleri “TP” de “n” bileşenli bir vektör olarak tanımlanmaktadır [19].

Haritalandırma ve zikzak çizme yönteminde kullanılacak olan fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ve tasarım parametreleri vektörler yardımı ile tanımlanmaktadır. Bu vektörler tasarım matrisini oluşturur. Tasarım matrisi fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır [11].

Fonksiyonel Gereksinimler/ İhtiyaçlar -FG

Tasarım Parametreleri-TP

Süreç Değişkenleri-PV

Matematiksel anlamda fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ile tasarım parametreleri arasındaki ilişki aşağıdaki Denklem (2.1)’de sembolize edilmiştir [11]:

$$\{FG\} = [A] \times \{TP\} \quad (2.1)$$

Şekildeki denklemde:

{FG}: Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar) Vektörü

{TP}: Tasarım Parametreleri Vektörü

[A]: Tasarımı Belirleyen Vektör

A: Tasarım Matrisi aşağıdaki Denklem (2.2)'de belirtilmektedir.

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{s11} & A_{12} & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{2n} \\ A_{m1} & A_{m2} & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki matris olarak yer alan denklem de A matrisi yapısı itibarı ile tasarımın çeşidini bildirmektedir. Tasarım çeşidi:

Ayrık tasarım: A tasarımı belirleyen matrisin elemanlarının yalnızca matrisi oluşturan ana köşegenlerinde olduğu konumda tasarımın çeşidi ayrık tasarım türüdür. Ayrık tasarım aksiyom türü bakımından bağımsızlık aksiyomunun en ideal tasarımıdır. Buna rağmen ayrık tasarımı elde etmek çok zordur.

Müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak üzere hazırlanmış olan her bir tasarım için tasarım türü ve matrisi var olmaktadır, fakat bu tasarımı gerçekleştirmek adına tasarım türüne ve matrisine karar vermek zordur, önemli olan nokta tasarımı ortaya çıkarmaktır.

Ortam koşulları ve buna bağlı olarak kısıtlamaların mevcut olmasından kaynaklı olarak bazı durumlarda tasarımın sağlıklı bir şekilde oluşturulması mümkün olmayabilmektedir [46].

AT hiyerarşisinde tasarım matrisini oluşturan her elemanın yani her  $A_{ij}$  elemanının fonksiyonel gereksinim (ihtiyaçlar) vektörünün bir bileşen elemanını tasarım parametreleri vektörünün bir bileşen elemanının birbirleri ile bağlantılı olduğunun düşünülmesi gerekir. Bu durumda genel bir ifade ile  $A_{ij}$  ifade aşağıdaki şekilde oluşturulmaktadır [34]. Bir tasarım matrisi elemanları aşağıda yer alan Denklem (2.3) ile oluşturulmaktadır.

$$A_{ij} = \frac{\partial FG_i}{\partial TP_j} \quad (2.3)$$

Tasarım matrisinin türünü belirlerken;

- **Ayrık (Uncoupled) Tasarım:** Tasarım matrisinin sadece köşegeninde, sıfırdan farklı ve bağlantı sağlayacak elemanlarının olması durumudur.
- **Ayrıklaştırılmış (Decoupled) Tasarım:** Tasarım matrisinin sadece köşegeninde ve üstünde veya altında bağlantı sağlayacak, sıfırdan farklı, elemanlarının olması durumudur.
- **Bağlı (Coupled) Tasarım:** Tasarım matrisinin birçok yerinde bağlantı sağlayan elemanlarının, sıfırdan farklı, olması durumu [22].

AT metodunda gerçekleştirilmesi hedeflenen tasarımın türü tasarımı oluşturan matrisin yapısı ile paralellik göstermektedir. [A] tasarım matrisini oluşturan elemanlar incelendiğinde; matris köşegeninde yer alan bütün elemanların sıfır oluğu konumda ayrık tasarım matrisi gerçekleşir. Günümüz tasarım dünyasında Ayrık Tasarıma ulaşmak oldukça zor bir süreç içermektedir. Nam Suh' a göre "En basit tasarım matrisi; bütün köşegen olmayan elemanların sıfır olduğu kabul edilen matristir" [34]. Fonksiyonel gereksinimlere (ihtiyaçlara) bağlı olarak tasarım matrisi Denklem (2.4)'de belirtilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FG_1 \\ FG_2 \\ FG_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} TP_1 \\ TP_2 \\ TP_3 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

A tasarım matrisin aşağıdaki Denklem(2.5)'de belirtilmiştir;

$$A_{12}=A_{13}=A_{21}=A_{23}=A_{31}=A_{32}=0 \quad (2.5)$$

Olduğu hesaplama sonucunda görülebilir.

Denklem (2.6)'da A tasarım matrisine bağlı olarak;

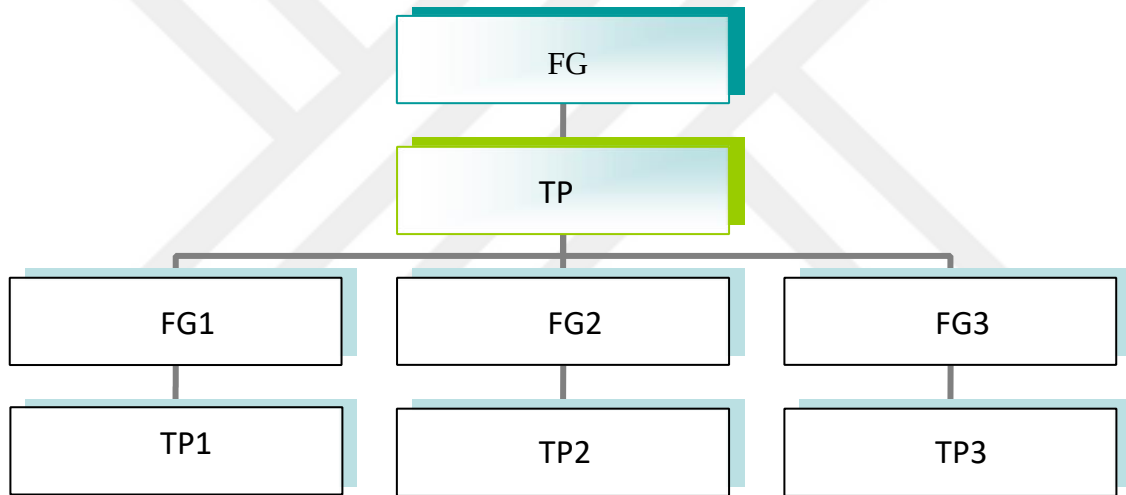
$$\{FG\} = [A] * \{TP\} \quad (2.6)$$

Denklem (2.7)’den yola çıkılarak:

$$\begin{aligned} FG_1 &= A_{11} * TP_1 \\ FG_2 &= A_{22} * TP_2 \\ FG_3 &= A_{33} * TP_3 \end{aligned} \quad (2.7)$$

Fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) yukarıda yer alan denklemler ile hesaplanabilir [34]. Gerçekleştirilmek istenen tasarım için oluşturulan matriste yer alan fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ve tasarım parametreleri arasında bulunan ilişki “X” ile belirtilmektedir. Ayrık tasarım türünün

Şekil 2.5 üzerinde gösterimi aşağıda yer almaktadır [44].



Şekil 2.5. Ayrık Tasarımın tablo halinde gösterimi

Tasarım matrisini oluştururken ayrık tasarımın bulunamadığı hallerde, ayrıklaştırılmış tasarımın bulunması hedeflenmektedir.

- Bağlı Tasarım: Ayrık tasarımın tam tersi olarak yer alan bağlı tasarım kendi bünyesinde sahip olduğu tasarım matrisinde sıfır olmayan birçok farklı öge barındırmaktadır [34].

A tasarım matrisi ele alındığında; fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ve tasarım parametreleri arasındaki matris eşitliği uygulandığında sonuçlar aşağıdaki Denklemler (2.8),(2.9),(2.10) kullanılarak elde edilmektedir.

$$FG_1 = A_{11} * TP_1 + A_{12} * TP_2 + A_{13} * TP_3 \quad (2.8)$$

$$FG_2 = A_{21} * TP_1 + A_{22} * TP_2 + A_{23} * TP_3 \quad (2.9)$$

$$FG_3 = A_{32} * TP_2 + A_{33} * TP_3 \quad (2.10)$$

Tasarım parametreleri matrisinde yer alan 2. Basamaktaki bir değişim ile fonksiyonel gereklilik matrisinde bir değişim gerçekleştirilemez. Bu sebeple  $TP_2$ ;  $FG_1$  ve  $FG_3$  etkilenmektedir. Bu türdeki tasarım ayırık tasarım modelini sağlayamaz ve bağlı tasarım olarak tanımlanır [37].

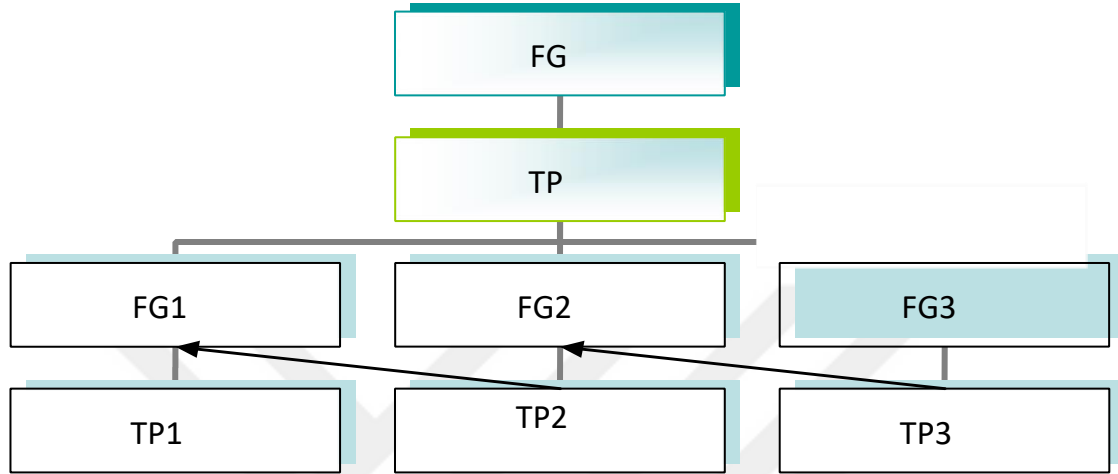
Bağlı tasarım diğer tasarım türleri arasında istenmeyen bir tasarım türüdür. Bağlı tasarım modelinde bağımsızlık aksiyomu karşılanamaz ve karmaşık bir yapı oluşur.

Bağlı tasarım prosesince oluşan karmaşıklık ve belirsizlik; seçim, sıralama ya da sınıflandırma aşamaları açısından zaman kayıplarına, tekrar eden işlere ve aktif olmaktan uzak bir duruma sebep olur. Matematiksel anlamda bu durum aşağıdaki Denklem (2.11) ile ifade edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} FG_1 \\ FG_2 \\ FG_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & X \\ 0 & X & X \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} TP_1 \\ TP_2 \\ TP_3 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

İstenmeyen tasarım türü olan bağlı tasarım mümkün mertebe ayırık tasarıma ya da ayrıklaştırılmış tasarıma dönüştürülmelidir. Bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarım türü ayırık ya da ayrıklaştırılmış tasarım türüdür. Bir tasarımın onaylanması için en basit haliyle ayrıklaştırılmış tasarım olmak zorundadır.

Bağlı Tasarım gerek aktif olmaması gerekse de tasarım sürecinin veya prosesin tekrarlanması sebebi ile tercih edilmemektedir. AT metodunu anlamak için tasarım matrislerine oldukça önem verilmelidir. Tasarım matrisleri AT’de karar vermek adına tasarımcılara ve yetkililere fikir vermektedir [46]. Bağlı tasarıma ait tasarım diyagramı Şekil 2.6’da belirtilmiştir.



**Şekil 2.6.** Bağlı Tasarım diyagramı

Ayrıklaştırılmış Tasarım: Bir bağlı tasarım; farklı tasarım yapılarak veya tasarım parametrelerini farklı bölgelere kaydırarak, ayrıklaştırılmış tasarıma çevrilebilir. Bu durum aksiyomatik tasarım metodunda oldukça yaygın bir işlemdir. A tasarım matrisinin üçgen şeklindeki kısmı aşağıdaki Denklem (2.12) aracılığı ile bulunur;

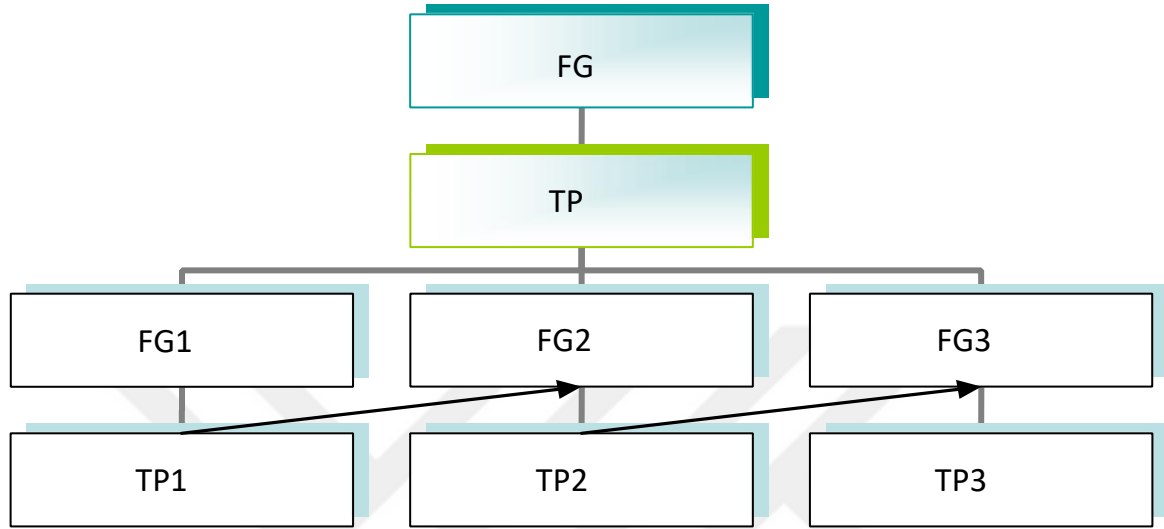
$$A_{12} = A_{13} = A_{23} = 0 \quad (2.12)$$

A tasarım matrisi, fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ve tasarım parametrelerinin yer aldığı matrisler ise aşağıdaki Denklem (2.13)’de yer almaktadır;

$$\begin{bmatrix} FG_1 \\ FG_2 \\ FG_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} TP_1 \\ TP_2 \\ TP_3 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

AT metodunda; tasarım parametreleri özel tasarımları gerçekleştirmek için bir düzen içerisinde dizilirse denklemde yer alan fonksiyonel ihtiyaçlar için bağımsızlık elde edilir.

Buna rağmen gerçekleştirilecek tasarımda bağımsızlık aksiyomu elde edilebilir. Elde edilmesi istenilen bağımsızlık aksiyomu diyagramı Şekil 2.7’de belirtilmektedir.



Şekil 2.7. Ayrıklaştırılmış Tasarım diyagramı

#### 2.2.4.2. Enformasyon Aksiyomu

AT’ın bir diğer aksiyomu olan enformasyon aksiyomu en iyi tasarımı gerçekleştirmek adına yer alır. Enformasyon aksiyomu en iyi tasarımın nasıl gerçekleşmesi gerektiği konusunda lazım olması gereken data ve verileri tasarımcılara sunar.

Tasarım süreci gerçekleştirilirken daha önce belirlenmiş olan fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ile ortaya çıkan sınır ve kısıtlar doğrultusunda birçok tasarımcı çeşitli tasarımla sonuçlanabilecek projeler ya da prosesler sunabilirler. Tasarımcılara serbestlik tanıyan durum genel mana da bağımsızlık aksiyomu sayesinde oluşur.

Bir diğer ifade ile fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) karşılayan pek çok tasarım mevcuttur. Ortaya çıkan tasarımlar arasında karar verme aşamasında ise bir tasarım diğer tasarımlara oranla daha öne çıkacaktır ve kabul alabilecektir.

Enformasyon aksiyomu kabul edilebilir tasarımlar arasından en iyi tasarımı seçmek adına; tasarımın gerekliliğini ya da isteklerini sayısal verilere dönüştürmektedir.

Enformasyon aksiyomunun tasarimsal anlamda başarılı ve kabul edilmesinin bir diğer sebebi ise kişisellikten çok nicel ölçümler vasıtası ile tasarımı objektifliğe doğru taşımaktadır. Ayrıca enformasyon aksiyomu; tasarım iyileştirmesi (dizayn optimizasyonu) ve sağlam tasarım yapısı oluşturmak hususunda teknik ve teorik altyapıyı oluşturmaktadır [11].

Fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) açısından belirlenmiş, tasarım açısından sınırlandırılmış, tasarımın hedeflerinin karşılandığı birbirleri ile eşdeğer prosesler oluşturulur. Fakat fonksiyonel açısından diğerlerine oranla üstün bir tasarım hali hazırda bulunmaktadır.

Enformasyon aksiyomuna göre gerçekleştirilmesi gereken tasarım ihtimali olan tasarım karar aşamasında yer alan en iyi tasarım olarak belirlenmektedir.

Tanımsal olarak enformasyon aksiyomu: Gerçekleştirilecek olan tasarımda enformasyon içeriğini en aza indirmeye yarar. Verilen bir fonksiyon gereksinimler (ihtiyaçlar) için enformasyon içeriği ( $I_j$ ); fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ( $FG_j$ ) sağlama ihtimali olan elemanları belirlenmektedir [11].

$I_j$ : Enformasyon İçeriği

$FG_j$ : Fonksiyonel Gereksinimleri/ İhtiyaçları Sağlamayan elemanlar

Enformasyon içeriğinin hesaplanması gereken matematiksel Denklem (2.14) aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$I_j = \log_2 \frac{1}{P_i} = -\log P_i \quad (2.14)$$

İstenilen enformasyon byte (bayt) boyutunda bulunur. Birden fazla fonksiyonel ihtiyaçların aynı anda saptanması şart olduğu zamanlarda; enformasyon içeriğini bulabilmek için matematiksel anlamda logaritmik fonksiyonlar kullanılmaktadır. Kullanılan logaritmik fonksiyonlar ya 2 tabanında ( $\log_2 x$ ) ya da doğal logaritmadan ( $\log_{10} x$ ) faydalanılmaktadır [11].

“m” fonksiyonel ihtiyaçları tanımlayan eleman olmak üzere genel bir olayı aktaran sistemin enformasyon içeriğinin oluşturulması Denklem (2.15) aracılığı ile hesaplanmaktadır;

$$I_{sistem} = -\log_2 P\{m\} \quad (2.15)$$

Denklemden  $P\{m\}$ ; fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) sağlayan olasılıkların toplamını temsil etmektedir [11].

Ayrık tasarımda yer aldığı gibi fonksiyonel gereksinimin (ihtiyaçların) bütün elemanları matematiksel anlamda birbirinden bağımsız ise aşağıda yer alan Denklem (2.16) ile bulunmaktadır;

$$P_{\{m\}} = \prod_{i=1}^m P_i \quad (2.16)$$

Sistemin enformasyon içeriği ( $I_{sistem}$ ) aşağıda yer alan Denklem (2.17) aracılığıyla bulunur [11].

$$I_{sistem} = \sum_{i=1}^m I_i = \sum_{i=1}^m \log_2 P_i \quad (2.17)$$

Ayrıklaştırılmış tasarımda da yer aldığı şekilde fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) elemanlarının matematiksel bağımsızlığı sağlanmamış ise Denklem (2.18) aşağıdaki gibi oluşur [11].

$$\{i\} = \{1, 2, 3, \dots, i-1\}$$

$$P_{\{m\}} = \prod_{i=1}^m P_{i|(j)} \quad (2.18)$$

Denklemden yer alan;

$P_{i|(j)}$  Fonksiyonu; fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) gerçekleştirme olasılığıdır.

Bu şartlar altında sistemin enformasyon içeriği ( $I_{sistem}$ );

$$\{j\} = \{1, 2, 3, \dots, i - 1\}$$

$$I_{sistem} = \sum_{i=1}^m \log_2 P_{i|(j)} \quad (2.19)$$

Denklemleri (2.19) ile tespit edilir [11].

Enformasyon aksiyomu açısından en iyi tasarıma karar vermek için; minimum seviyede enformasyona ihtiyaç duyulan tasarım tercih edilir. Bu durumda da sistemin enformasyon içeriği ( $I_{sistem}$ ) kontrol edilir ve kıyaslama yapılır. Matematiksel anlamda olasılık aralığı 0-1 aralığında değişkenlik göstermektedir. Seçilmesi istenilen tasarımlar içerisinde bütün olasılıkların 1'e eşit olduğu durumda enformasyon içeriği 0'dır.

Bir diğer ifade ile matematiksel olarak bütün olasılıklar 0'a eşit olduğu durumda enformasyon içeriği sonsuzdur. Sistemin olasılıklarının az olduğu durumda ise; fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) sağlamak için daha çok dataya (veriye) ihtiyaç duyulur.

En iyi tasarıma karar vermek adına tasarımın başarı olasılığının düşük olduğu durumda fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) sağlamak için gereken enformasyon içeriğinin yüksek olması halinde seçimi yapılacak tasarım kompleks tasarım olarak tanımlanmaktadır.

Kompleks tasarım; tasarımı gerçekleştirilecek ürün için fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) tolerans aralığının yüksek olması veya yüksek hassasiyet aralığında üretilmesi koşuluyla gerçekleştirilir. Bu durum çoklu üretim diye adlandırılan seri üretim ürünlerinde de geçerlidir. Seri üretime uygulanacak parçalar için fonksiyonel gereksinimlere (ihtiyaçlara) uygun olmayan, bir diğer ifade ile tasarım aralığı dışarısında yer alan tasarımların gerçekleşmesine neden olur. Bu nedenle tasarım içerisinde yer alan karmaşıklığın nicel anlamda bir sonucu tanımlanıp enformasyon içeriğine uyarlanmış olunur. Bu nedenle karmaşık sistemleri oluşturur ya da tasarlarken faaliyet sağlamak için elde edilmesi gereken veri çokça toparlanmalıdır. Fiziki anlamda büyük olan sistemler her zaman karmaşık olmak zorunda değildir. Toparlanması gereken data içeriği az olabilir. Bunun tam zıttı durumda da geçerlidir.

Fiziken küçük olan sistemler enformasyon içeriğinin yoğun olduğu durumlarda karmaşık halde bulunabilir. Sonuç olarak sistemlerin karmaşık ya da kompleks olma durumları fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) belirlediği tasarım limitleri ile yakın ilişkilidir. Tasarım limitlerinin yakın durumda olması durumunda fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) gerçekleştirilmesi zorlaşır.

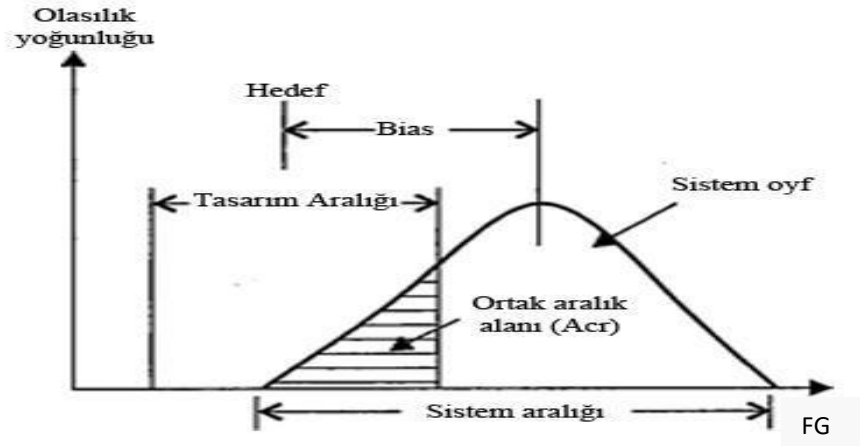
Tasarım esnasında gerçekleşmesi muhtemel karmaşıklığın matematiksel açıdan enformasyon içeriği oluşturulur. Karmaşık sistemlerin oluşturulması açısından elde edilmesi gereken ya da toplanması gereken data içeriği oldukça fazla olmak durumundadır.

Teknik açıdan fiziksel ya da ebat olarak oldukça büyük olan sistem bütünü yapı itibarı ile karmaşık tasarım olmak zorunda değildir. Bu durumun en önemli sebebi tasarımın gerçekleşmesi açısından data içeriği az olabilmektedir.

Tasarım içeriğinin yoğun olma durumunda fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) belirlenen ya da istenilen tasarım aralığının içerisinde yer almak durumundadır [11].

Reel sektörde ya da günümüz dünyasında gerçekleşmesi muhtemel ürünler ve sistemler açısından sistemin kabiliyeti ile fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) gerçekleştirilmesi hususunda tasarımı gerçekleştiren ekip ya da tasarımcının belirlediği tasarım aralığı içerisinde bir kesişim kümesi belirlenir. Bu kesişim kümesi tasarım aralığının oluşturulduğu ortak alan oluşturulur.

Yapılması hedeflenen tasarımın fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) karşılanması için Tasarım Aralığı (Design Rate: DR) ile Sistem Aralığı (System Rate: SR) belirlenir ve matematiksel olarak hesaplamaya eklenir. Tasarım aralığı ve sistem aralığının oluşturduğu alanlar Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.8.** Sistem aralığı ve tasarım aralığı alanları

Şekilde yer alan dikey eksen tasarımın gerçekleşmesi açısından olasılık yoğunluğunu, yatay eksen ise haritalama ve zikzak çizmeye bağlı olarak hem fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) hem de tasarım parametrelerini oluşturur.

Sistem tasarımı veya ürün tasarımının gerçekleştirilmesi gibi alanlar fonksiyonel ve fiziksel saha olarak haritalandırıldığı zaman yatayda yer alan eksen fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) tanımlamaktadır.

Eğer tasarımı gerçekleştirilmek istenen sistem bir süreç halindeyse ya da proses tasarımında ise sürecin alanı ve fiziksel alan ilişkisindeki haritalama sonucunda yatay eksen tasarım parametrelerini oluşturmaktadır.

Sistem OYF: Sistem olasılığı yoğunluk fonksiyonu

ACR: Hedeflenen sistem aralığı ile tasarım aralığı arasında yer alan bölge

CR: Ortak Aralık- Common Range

Şekilden elde edilecek bir diğer sonuç enformasyon içeriği ile ilgili olup Denklem (2.20) aşağıdaki gibi tespit edilmiştir:

$$I = \log_2 \frac{1}{A_{cr}} \quad (2.20)$$

Gerçekleştirilmesi hedeflenen tasarımlar için belirlenmiş olan fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) hedef tasarımın aralığını belirlemektedir. Hedef tasarımın gerçekleşmesi adına sadece bir fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) varsa bağımsızlık aksiyomunu sağlamak için ya da bu fonksiyonel gereksinimi (ihtiyaçları) sağlamak için uygun bir tasarım parametresinin oluşturulması gerekmektedir.

Tek fonksiyonel gereksinime (ihtiyaçlara) sahip olan bir tasarım türü içerisinde tasarım matrisine uygun olabilecek nicel değerlerin tercih edilmesi durumunda hedef tasarım daha sağlam ve gerçekleştirilmesi muhtemel tasarım haline gelmesi beklenmektedir. Günümüz dünyasında tek fonksiyonel gereksinimli (ihtiyaçlı) lineer olmayan tasarım durumlarında ise tasarıma ait data verilerinin en az ve en çok gerçekçi fonksiyonları gerçekleştirmek üzere gerçekçi ve geliştirilmiş optimizasyonlar bulunmaktadır. Buna rağmen optimizasyon yöntemleri birden çok fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) yer aldığı durumlarda kullanıma durumu söz konusu değildir [11]. Gerçekleştirilmesi hedeflenen tasarım içerisinde birden fazla fonksiyonel gereksinimin (ihtiyaçların) yer aldığı tasarım için yapılması gereken ilk olarak ayrıklaştırılmış ya da ayrık tasarım haline getirilmesi yapılmaktadır. Şayet hedef tasarım ayrık ise söz konusu bütün fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) yerine getirilir ve bu fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) içerisinde en uygun (optimum) belirlenir.

Şayet sistem tasarımı ayrıklaştırılmış tasarım ise tüm fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) belirlenmiş bir sıra ve düzen halinde sıralanmalıdır. Sonuç olarak enformasyon aksiyomu; hedef tasarımı gerçekleştirebilmek için enformasyon içeriğinin ölçülendirildiği ve tasarımın mükemmel hale getirilmesi adına matematiksel olarak bir hiyerarşiyi ve zemini oluşturmaktadır [11].

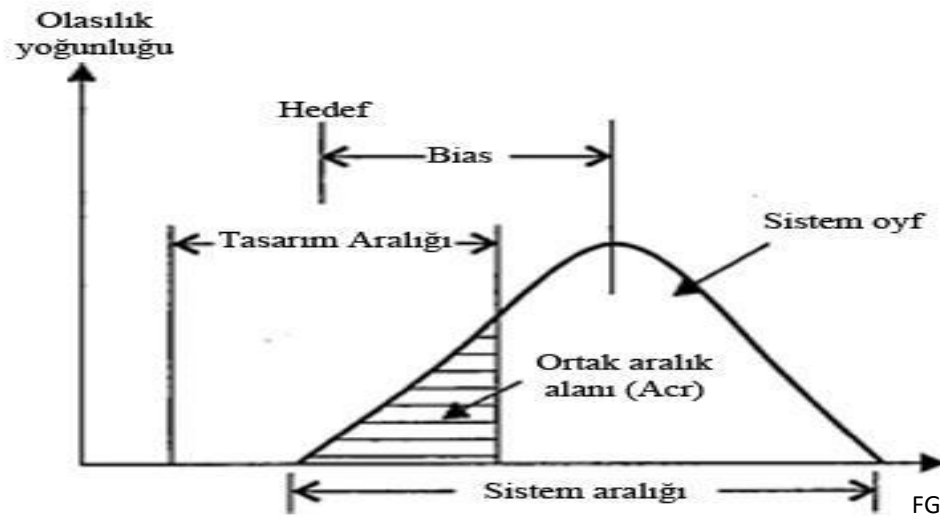
#### **2.2.5. Sağlam Tasarım: Enformasyon İçeriğinin Azaltılması**

Gerçekleştirilmesi istenilen tasarım için asıl amaç; sistemi var eden ve çalışması için gerekli olan enformasyon içeriğinin minimize edilmesidir. Bunun gerçekleştirilmesi için de hedef tasarım istenilen genişlikte değişimlere yani üretim değişkenliklerine izin verilmesi gerekmektedir. Yapılan işlemler sonucunda gerçekleşen tasarım sağlam tasarımdır. Sağlam tasarımın oluşturulması adına sistem tasarım değişkenleri en az olmalıdır.

Buna ek olarak sapma sistem aralığının tasarım aralığı içerisinde kalması adına en aza indirgenmelidir. İndirgenmeler için gerçekleştirilecek matematiksel açıdan işlemler sonucunda enformasyon içeriği en aza minimum hale getirilir. Sapma; bağımsızlık aksiyomu hedef tasarım için gerçekleştirilmesi durumunda çıkarılır.

Hedef tasarımın bağımsızlık aksiyomunun gerçekleştirildiği sistemdeki varyansları en aza indirgenmede dört yöntem bulunmaktadır [11].

#### 2.2.5.1. Sapmanın İndirgenmesi



Şekil 2.9. Hedef tasarım içerisinde tasarım aralığı-sistem aralığı ve ortak aralık

Şekil 2.9'da yer alan hedef tasarım için fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) açısından değeri tasarım aralığının ortasında belirtilmiştir. Hedef tasarımda sistem olasılık yoğunluk fonksiyonu (**Sistem<sub>oyf</sub>**) aralığında kalan aralık sapma olarak isimlendirilir. Tasarımın kabul edilmesi için fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ile ilişkili sapma en az ya da sıfır olmak zorundadır. Bir diğer ifade ile sistem açısından ortalama yoğunluk fonksiyonun sonuçları hedef tasarım aralığındaki hedef değere eşit olmak zorundadır [11].

Tek fonksiyonel gereksinimli (ihtiyaçlı) tasarımlar için sapma; ilişkili tasarım parametrelerinin farklılaştırılması aracılığı ile azaltılabilir ya da minimize edilebilir.

Bu nedenle tasarım parametreleri, fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) kontrol eder ve tasarımcılar da tasarım parametrelerinde oluşabilecek değişimlerin diğer fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) arasındaki etkileşimlerini hesaba ekmek zorundadır.

Bu sebeple tek fonksiyonel gereksinimli (ihtiyaçlı) hedef tasarım için sapmanın yok edilmesi olabildiğince daha kolay hale getirilebilmektedir. Birden fazla fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) içeren sistem açısından hedef tasarımın bağımsızlık aksiyomu gerçekleştirilmediği durumda sapmayı yok etmek gerçekleştirilmemektedir [11].

Eğer ki bağlı tasarım söz konusu ise belirtilmiş bir fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) sapmayı minimize etmek için tasarım parametreleri her değiştirildiğinde diğer fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) açısından sapmalar da değişiklik gösterilmektedir.

Bu durumda hedef tasarım kontrol edilemez ve başarısız olmaktadır. Eğer hedef tasarım ayırık tasarıma sahipse tasarım matrisi diyagonal bulunmaktadır. Hedef tasarımda yer alan her bir fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ile alakalı sapma bağımsız olarak değişime uğramaktadır. Ayırıklaştırılmış tasarıma sahip hedef tasarım açısından, üçgensel matris tarafından belirtilen matematiksel işlemlerin uygulanması aracılığı ile tüm fonksiyonel gereksinimlerle (ihtiyaçlarla) ilgili sapmalar elimine edilebilmektedir [11].

#### **2.2.5.2. Varyansın İndirgenmesi**

Varyans: Sistem olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişmesinin matematiksel doğruluğudur. Günümüz endüstrisinde varyansa çevre, gürültü, bağlılık, bağımlılık ve rastgele değişimler olmak üzere çeşitli faktörler neden olur.

Birden çok bulunan fonksiyonel gereksinimlere (ihtiyaçlara) sahip hedef tasarımlarda varyansın azaltılması şartı ile enformasyon aksiyomu gerçekleştirilmektedir. Hedeflenen bütün tasarımlarda varyansı en aza indirmektedir.

Varyansı en aza indirmek için izlenecek olan yöntemler aşağıda detaylandırılmıştır.

Enformasyon içeriğinin rijitliğinin azaltılarak düşürülmesi:

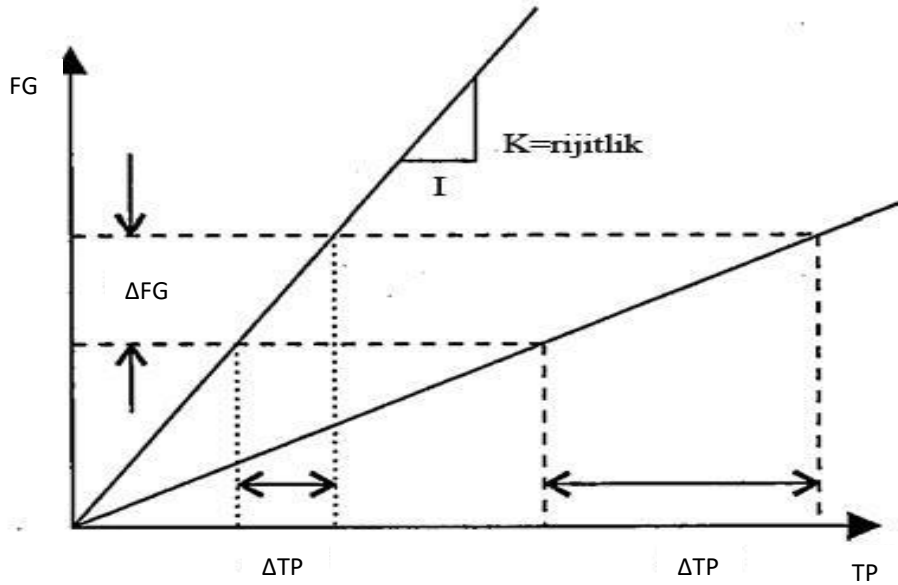
Hedef tasarım açısından tasarım parametresi ile ilişkili tek fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) mevcut ise Denklem (2.21) yardımıyla;

$$FG_1 = (A_{11}) * (TP_1) \quad (2.21)$$

Gerçekleştirilecek olan hedef tasarım açısından lineer olma durumu söz konusu ise  $TP_1$  tasarım parametresi değeri tolerans aralığı için  $FG_1$  fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) değeri bulunmaktadır.  $A_{11}$  Rijitliliğinin ağırlığı ile orantılıdır. Söz konusu rijitlik için ise bir tolerans değeri bulunmaktadır. Rijitlik alt sınırı tasarımı etkileyen bir diğer etkidir [11].

Rijitlik fonksiyonu olarak kabul edilebilir tasarım parametresi değişkenlerinin belirli bir delta fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) ( $\Delta FG$ ) için;

Tasarım parametresi (TP) değişkenlerinin rijitliğin ( $A_{11}$ ) azalması ile artmaktadır. Bir diğer ifade ile ters orantı mevcuttur. Aşağıdaki Şekil 2.10'da tasarım aralığı ve fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) matematiksel grafiği yer almaktadır.



**Şekil 2.10.** Tasarım aralığı ve fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) matematiksel grafiği

Hedef tasarım içerisinde enformasyon aksiyomuna kıyasla sistem ait tolerans aralığı, tasarım aralığından görece geniş bir alana sahiptir. Hedef tasarım içerisinde tek fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) sahip olan tasarım olması nedeniyle sapmanın değiştirilmesi mümkündür.

Buna ek olarak sistem tasarım aralığının merkezini tasarım aralığı içerisinde hareket ettirmek ihtimal dahilinde yer almaktadır. Sistem aralıklarının tasarım aralığı içerisinde kalması adına varyans ile ilgili sistem aralığını azaltmak mümkün bir eylemdir. Enformasyon içeriğinin değişkenlere dirençli sistemlerin tasarlanması ile azaltılması

Hedef tasarım içerisinde rijitlik matematiksel olarak sıfır ise sistem içerisinde yer alan tasarım parametrelerinde oluşacak değişkenlerden (varyasyonlardan) tamamen bağımsız duruma gelecektir. Eğer sistem içerisinde yer alan hedef tasarım parametrelerinin değiştirilmesi isteniyor ise rijitlik aralığı fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) kontrol edebilecek düzeyde geniş olmak zorundadır. Tasarımsal açıdan sağlamlık için düşük rijitlik olması istenen bir durumdur.

Hedef tasarım içerisinde yer alan fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) etkileyen birden çok tasarım parametreleri var ise tasarım; tasarım parametreleri içerisinde bir tane seçilmelidir. Bunun dışında yer alan diğer tasarım parametreleri etkilenmeyecek şekilde tasarım matrisi ve hiyerarşisi oluşturulmalıdır. Lineer olmayan tasarım parametreleri içerisinde oluşturulacak tasarım türleri için bu koşul gerçekleştirilmelidir.

Değişkenler ya da varyans; sistem sonuçlarının veya çıktıların dağılımının belirtildiği verilerin matematiksel ölçüm değeridir. Eğer ki hedef tasarım içerisinde birden fazla tasarım parametresi bir fonksiyonel gereksinimi (ihtiyacı) etkiliyor ise fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) toplam varyansı; tasarım parametreleri için matematiksel anlamda bağımsız olduğu durumda ki varyansların toplamlarıdır. Genellikle sistem tasarım aralığının değişimi fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) açısından etki eden faktörlerin değişimi ile bağlantılıdır.

Hedef tasarıma karar veren tasarımcılar açısından rijit bir dizaynın gerçekleşmesi:

$$FG = f(TP_a, TP_b, TP_c) \quad (2.22.)$$

$$FG = A_a TP_a + A_b TP_b + A_c TP_c \quad (2.23.)$$

Bu Denklemlerde (2.22.), (2.23.):

**FG** Fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar)

**A<sub>a</sub>, A<sub>b</sub>, A<sub>c</sub>** katsayı

**TP<sub>a</sub>, TP<sub>b</sub>, TP<sub>c</sub>** Fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) etkileyen tasarım parametreleri tanımlamaktadır.

Bu denklemlerde fonksiyonel gereksinimlerde (ihtiyaçlarda) oluşabilecek değişimler herhangi bir kontrol edilemeyecek katsayıdan ya da tasarım parametresinden kaynaklı değişebilir. Tasarım sisteminde değişkenler (varyans) fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) **TP<sub>a</sub>, TP<sub>b</sub>, TP<sub>c</sub>** tasarım parametrelerine duyarlı duruma gelirler.

Sonuçta varyans bu şekilde azaltılmış olunur. **A<sub>a</sub>, A<sub>b</sub>, A<sub>c</sub>** katsayıları küçültülerek ya da **TP<sub>a</sub>, TP<sub>b</sub>, TP<sub>c</sub>** tasarım parametrelerinin sabitlenmesi sonucunda varyans azaltılması sağlanır. Fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) sadece tasarım parametrelerine bağlı fonksiyondur. Fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) tasarım parametrelerinin değişimleri ile kontrol edilmektedir. Bunun sonucunda varyans değişim kaynağı katsayılarda oluşabilecek rastgele değişim kaynaklı oluşur.

Birden çok fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) açısından tasarım Denklem (2.24) de olduğu gibi [11]:

$$\begin{bmatrix} FG_1 \\ FG_2 \\ FG_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} TP_1 \\ TP_2 \\ TP_3 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

İdeal tasarım matrisinde bulunan **A<sub>11</sub>, A<sub>22</sub>, A<sub>33</sub>** katsayılarında meydana gelen rastgele değişimler minimize edilmesi sonucunda varyansın azaltılması mümkündür. Fakat tasarım parametrelerinde oluşabilecek hatalar, sapmalar varyansı oluşturabilmektedir. Sonuç olarak katsayılar olabildiğince minimize edilmelidir [11].

- Sistem tasarımında yer alan enformasyon içeriğinin fazladan tasarım parametrelerinin sabitlenmesi şeklinde azaltılması:

Gerçekleştirilmesi istenen hedef tasarım gereksiz ya da hayata geçirilmesi zor bir tasarıma sahip olduğu durumlarda fonksiyonel gereksinimlerde (ihtiyaçlarda) yer alan sapmalara bağlı olarak tasarım parametreleri tespit edilmelidir. Fazladan oluşturulan tasarım parametrelerinde ki değişim engellenmelidir ve azaltılabilmektedir.

Birden fazla fonksiyonel gereksinimlere (ihtiyaçlara) sahip hedef tasarım:

$$\begin{bmatrix} FG_1 \\ FG_2 \\ FG_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 & A_{14} & A_{15} & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 & 0 & A_{25} & A_{26} \\ 0 & 0 & A_{33} & A_{34} & 0 & A_{36} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} TP_1 \\ TP_2 \\ TP_3 \\ TP_4 \\ TP_5 \\ TP_6 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Hedef tasarım açısından yukarıda yer alan tasarım matrisi Denklem (2.25) tasarimsal olarak gereksiz bir matristir. Bunun nedeni ise tasarım parametrelerine ait matris elemanlarının matematiksel olarak fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) ait matris elemanlarından fazla olmasıdır.

Hedef tasarımı gerçekleştirecek olan tasarımcının en önemli işlerinden birisi hedef tasarımdaki enformasyon içeriğinin gereksiz ya da fazla olan parametreleri azaltmaktır. Bunun için yapılması gereken durum tasarımı ayırık bir hale dönüştürmek olmalıdır. Bu dönüşüm işlemi iki yöntem ile gerçekleştirilmektedir.

- i. Hedef tasarıma ait olan tasarım parametrelerinde yer alan sayıca fazla olan elemanların bir kısmını sabitlemek ya da bu elemanlara karşılık gelecek olan katsayıları sıfırlamak olmalıdır.
- ii. Hedef tasarım açısından bir kısım tasarım parametrelerinin azaltılması için denk gelecek olan fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların); tasarım parametrelerinde oluşabilecek varyansın sınırlandırılması ya da azaltılması gerekir.
- iii. Varyansın ayrıca fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) tasarım parametreleri üzerinde oluşabilecek değişikliklerden etkilenmemesi için katsayıların matematiksel olarak sıfırlanması gerekmektedir.

Hedef tasarım matrisi şayet yukarıdaki matrise benzer bir şekilde oluşturulmuş olsaydı tasarım matris elemanları ya sıfırlanmalı ya da tasarım açısından uygun olacak olan tasarım parametreleri fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) varyansını minimize etmek adına sabitlenmeliydi [11].

- Hedef tasarımda tasarım parametreleri ve süreç değişkenlerinde yer alan değişimlerin ve varyasyonların azaltılması yoluyla minimize edilmesi:

Hedef tasarımda bulunan fonksiyonel gereksinimlerde (ihtiyaçlarda) ki varyasyonların azaltılmasının bir yöntemi tasarımda yer alan rastgele girdi parametrelerinin, fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) total varyasyonlarının minimize edilmesidir. Fonksiyonel gereksinimlerdeki (ihtiyaçlardaki) değişimler Denklem (2.26) de ki gibi:

$$\sigma(FG_i)^2 = \sum_{j=1}^n (A_{ij})^2 \sigma(TP_j)^2 + 2 \sum \sum A_{ij} A_{ik} \text{Co}\vartheta(TP_j, TP_k) \quad (2.26)$$

Tasarım parametrelerinde ( $TP_j$ ) oluşan varyansın azaltılması fonksiyonel gereksinimlerde (ihtiyaçlarda) yer alan varyasyona ait elemanlar azaltılabilir. Şayet bazı tasarımlarda yer alan tasarım parametreleri elemanları birbirlerinden ayırık ise yani bağımsız ise yardımcı varyasyonlar (kovaryasyonlar) fonksiyonel gereksinimlerde (ihtiyaçlarda) oluşan varyansa etkileyen elemanları azaltırlar [11].

- Hedef tasarım için enformasyon içeriğinin telafi edilmesi ile azaltılması

Hedef tasarım açısından tek elemanlı fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) sahip tasarımlar gereksiz tasarımlardır. Bu durumun sebebi tek elemanlı fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) sahip tasarımda tasarım parametrelerine ait matriste; birden çok elemanın var olmasıdır.

Gerçekleşmesi muhtemel hedef tasarım açısından ideal bir tasarımın oluşturulması için; tek elemanlı fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) ait tasarımda tek elemana sahip tasarım parametresi yer almalıdır. Bu sebeple tek elemanlı fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) sahip bir tasarım oluşabilecek rastgele değişimler minimize edilmesi gerekir.

Bunun için de en iyi alternatif yol tasarım parametrelerine bağlı olarak gereksiz olarak yer alan tasarım parametreleri elemanları yok edilmek zorundadır. Buna ek olarak rijitlik değerinin minimize edilmesi gerekmektedir [11].

Örneğin; hedef tasarım açısından ideal bir tasarım matrisine sahip olmayan bir tasarım matrisi oluşturulmuş ise tasarım çok fazla ve gereksiz tasarım parametrelerine sahip olur. Bu elemanların azaltılması sorun teşkil edeceğinden dolayı tasarım düşük rijitlik değerine sahip olacaktır. Sonuç olarak tasarım; içerisinde yer alan rastgele değişimlere engel olamaz ve sağlıklı bir tasarım gerçekleşmez. Bu durumun çözümü ise tasarım parametrelerinde yer alan ekstra elemanlar ve fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) üzerinde oluşan değişimler seçilmiş olan tasarım elemanları için dengelenme sonucunda karşılanabilmektedir.

Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım için tasarım parametrelerine ait matris elemanlarının fonksiyonel gereksinimlere (ihtiyaçlara) ait elemanlar üzerindeki etkilerin azaltılması hedeflenmelidir. Şayet tasarım matrisinde yer alan fonksiyonel tasarıma ait elemanlar matematiksel olarak istenilen tolerans sınırları içerisinde yer almıyorsa;

Yeni tasarım parametreleri belirlenerek tasarım matrisi yeniden şekillendirilebilir. Bu durum bağımsızlık aksiyomu için birden çok elemanlı fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) sahip tasarım için; tek elemanlı fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) sahip tasarımda oluşabilecek rastgele hataların telafi edilerek çözülebilmesi anlaşılmaktadır. Bu şekilde gerçekleştirilen telafi edilmeler hedef tasarımın üretim esnasında oluşabilecek rastgele değişimlerin elimine edilmesi için kullanılabilmektedir.

- Hedef tasarım için enformasyon içeriğinin tasarım aralığının genişletilmesi sonucu azaltılması

Gerçekleştirilmek istenen özel tasarımlar için tasarım aralığı, tasarım hedeflerinin mahvedilmeden arttırılabilmesi durumudur. Böylelikle hedef tasarım için sistem aralığı tasarım aralığının bölgesinde yer alır [11].

#### **2.2.5.3. Enformasyon Aksiyomunun Aksiyomatik Tasarım Parametrelerinin Entegrasyonu ile Azaltılması**

Enformasyon içeriğinin eksiltilmesi konusunda hedef tasarım için sistem aralığı tasarım aralığının bölgesel olarak içerisinde kalması yolu ile sağlanmaktadır.

Yapılan bilimsel çalışmalar da bu yöntem sağlam tasarım olarak açıklanmaktadır. Sağlam tasarım yönteminin yanı sıra enformasyon içeriğinin azaltılması ile ilgili farklı farklı yöntemlerde yer almaktadır.

Fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) elemanlarının bağımsızlıklarının değiştirilmeden yani tek bir parça için tasarım parametrelerinin ilişkilendirilmesi söz konusudur.

Bu yöntemde; sisteme ait olan enformasyon içeriğinin birden çok fiziksel parça içeren tasarım bütününe hayal etme sürecinde ve üretim operasyonları esansında oluşabilecek sorunları minimize etmek hedeflenmiştir [11].

Gerçekleştirilmesi istenen hedef tasarımda fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ve tasarım parametreleri ile ilgili çok fazla derecede birbirinden bağımsız olarak oluşturulmuş ise tasarım parametrelerinin ilişkilendirilmesi fiziksel olarak mümkün hale gelecektir.

Bunun sebebi yüksek derecedeki tasarım parametreleri yaparak seviyeler türünden gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarımı oluşturmak için tüm yaprak seviye tasarım parametrelerini içeren fiziksel ürünler çalışacak olan sistemi oluşturmak için ilişkilendirmelerde bulunmaktadır. Günümüz dünyasında insan tasarımı ve düzenlenmesi içermeyen bir tasarım ve üretim prosesi yoktur [11].

#### **2.2.5.4. Tam Olmayan Enformasyon Aksiyomu ile Tasarım Yapmak**

Hedef tasarım sürecinde bazı durumlarda elde olunan veriler ışığında enformasyon içeriğinin yeterli olmadığı ya da tasarıma uygun gereçlerin hazır olmadığı durumlar oluşabilmektedir. Bu gibi durumlarda hedef tasarım prosesini durdurup ara vermektense hedef tasarım içerisinde enformasyonun durumuna göre devam edilmektedir [11].

Hedef tasarım için sorulması gereken başlıca sorular:

- Hedef tasarım için enformasyon olmadığı takdirde tasarım seçimleri için hangi sorular sorulmalıdır?
- Hedef tasarım için tasarım seçeneklerinin oluşturulmasında gerekli enformasyon içeriği neler olmalıdır?

Hedef tasarım açısından sorulacak olan soruların cevaplandırılması için gerekli olan ve izlenmesi gereken proses aşama aşama açıklanmalı ve belirtilmelidir.

Hedef tasarım prosesinde tasarımcılar sistemin enformasyonunu toplar, bir hiyerarşi oluşturur, değiştirir, sınıflandırır ve iletimini sağlar. Hedef tasarımda yer alan enformasyon içeriği karşımıza farklı farklı şekillerde görünür.

Hedef tasarım için gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda oluşturulan enformasyonlar, gündelik enformasyonlar, araştırma verileri ile modeller gibi tasarımı gerçekleştirmek için enformasyon aksiyomu çerçevesinde sahip olunan gereken enformasyon, tasarım sürecinde azaltılması istenen enformasyon içerisinden ayrıştırılmalıdır [11].

Enformasyon; sadece fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) saplayan olasılıkların oluşturduğu olasılıkların bir fonksiyonu olarak belirtilmiş olan enformasyon içeriği kadar özel değildir. Bu duruma benzer olarak fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) fiziksel alana çevrilmesinde ve tasarım parametrelerinin üretime dönüştürülmesinde benzer durumlar söz konusu olacaktır. Verilen bir fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) karşılık olabilecek en uygun tasarım parametresi seçilmek durumundadır.

Buna ek olarak tasarım parametreleri ve süreç değişkenleri seçilmiş ardından tasarım matrisine ait elemanlarla ilişkili özellikler belirtilmiş olmak durumundadır. Bu durum sonucunda hedef tasarım ile ilgili asıl     l mek istenen “ne yapmak istiyoruz” ve “nasıl yapmak istiyoruz” sorularının arasındaki ilişki tanımlanmış ve     mlendirilmiş olmaktadır.

### **2.3. Tek Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarım**

Aksiyomatik Tasarımın en önemli noktalarından birisi fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) oluşturulmasıdır. Bu durumu oluşturmak adına da hedef tasarım için sorulması gereken ilk soru “Neye ulaşmak istiyoruz?” sorusudur.

Hedef tasarım açısından AT yönteminin genel felsefesi ve düşüncesi [11]:

- Dört farklı alan bulunur: fonksiyonel alan, fiziksel alan, müşteri alanı, üretim alanı
- Müşteri gereksinimlerinin (ihtiyaçlarının) anlaşılması
- Müşteri ihtiyaçlarının fonksiyonel alanda fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) ve katsayılarının tanımlanması maksadıyla müşteri ihtiyaçlarının planlaştırılması
- Hedef  r n tasarımı prosesinde fiziksel alanda fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) sağlayan tasarım parametrelerinin tanımlanması. Bir diğer ifade ile fonksiyonel alanda ki NE sorusunun fiziksel alandaki NASIL sorusuna olan evrim sürecinin oluşturulması
- Süreç esnasında enformasyon aksiyomunun sağlanması

- Fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar), tasarım parametresi ve süreç değişkenleri açısından süreç değişkenlerinin bölümlere ayrılması maksadıyla birbirleri içerisinde zikzak yapılması gerekir. Örnek olarak; tasarım parametrelerinin ayrıştırılması sonrasında tekrardan fonksiyonel alana fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) birimlerine ayrılması amacıyla geri dönülmesi ve sonrasında yeniden fiziksel alanda yer alan gelecek seviye tasarım parametrelerinin oluşturulması için zikzak yapmak gereklidir.
- Hedef tasarım sonuçlandırılana kadar birimlere ayırma süreçleri devam ettirilmeli ve tasarım hiyerarşisinin oluşturulmasına kadar devam edilmesi gereklidir.
- Hedef tasarımın sağlam oluşturulması amacıyla ayrıklaştırılmış ve ayrık tasarımlarda sapma azaltılmalı ve hatta yok edilmesi gerekir. Bu duruma ek olarak tasarım parametresi süreç değişkenleri ile ilişkili varyansın azaltılması ve optimizasyonun sağlanması icap etmektedir. Sağlam tasarım her koşul ve şartta tasarım parametreleri süreç değişkenleri içerisinde oluşabilecek varyasyonları azaltmak ve karşılamak gereklidir.

Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarıma ait fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) sağlayan birden çok tasarım çözümüne sahip olunan durumlarda gerçekleştirilecek en iyi enformasyon aksiyomu hesaplanarak seçim yapılmalıdır.

Aksiyom 1 – Bağımsızlık Aksiyomu: Fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) bağımsızlığının sağlanmasıdır [11].

Enformasyon aksiyomu, hedef tasarım açısından kabul edilebilen tasarımlarda fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) bağımsızlığı ve fonksiyonel alanda bileşikliğinin minimize edilmesi için matematiksel sağlamlılık gerekmelidir.

Aksiyom 2 – Enformasyon Aksiyomu: Hedef tasarım açısından enformasyon içeriğinin azaltılması gerekmektedir. Hedef tasarım ile ilgili enformasyon aksiyomuna göre bağımsızlık aksiyomunun sağlandığı tasarımlar içerisinde seçilecek olan hedef tasarım ya da en iyi tasarım en az enformasyon içeriğine sahip olmak zorundadır. Bir diğer ifade ile fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) erişmek adına en az enformasyonun gerektiği tasarım olmak zorundadır.

Fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ve enformasyon aksiyomunun lineer olmayan bir hedef tasarım açısından doğru kabul edilen tasarım seçeneklerinin oluşturulması gerekmektedir. Başarılı sayılacak hedef tasarımın oluşturulması ve en iyi tasarımın seçilmesi konusunda gerekli olan zemin oluşturulur ve hedef tasarım sağlam tasarım haline getirilir.

Hedef tasarımın sağlamlaştırılması tasarım parametrelerine ya da süreç değişkenlerine ve fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) birbirleri ile ilişkili tasarım ölçütlerinin daha önceden belirlenmiş olunan durumlarda oluşabilecek en geniş bant aralığına sahip toleransların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu değişkenlerle beraber hedef tasarımın ek olarak ekonomik maliyeti ve geometrik limitleri ve benzeri gibi dış etkenler ile ilişkili sabitlerinde sağlanması gerekmektedir.

Sonuç olarak gerçekleşmesi istenen hedef tasarımın en iyi tasarım olabilmesi için; lineer olmayan bir tasarım mevzu bahis ise fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ve tasarım parametreleri içerisinde birbiri ile alakalı her bir  $x$  elemanı yerine ya birer rakam ya da bir fonksiyon belirtilebilir. Böylelikle hedef tasarım performans, üretkenlik ve güvenilirlik açısından belirlenerek hayata geçirilebilir [11].

### **2.3.1. Tek Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarıma Karşı Çok Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarım**

Gerçekleştirilmesi istenen ya da beklenen hedef tasarım içerisinde bir tek fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) mevcut ise tasarım için enformasyon aksiyomu mümkün olan her zaman ve süreçte sağlanır. Bunun sonucunda tasarımın bileşikliği tasarımın gerçekleşmesi açısından pek de önemli değildir. Karşılansın gereken tek faktör enformasyon aksiyomu olacaktır.

Bu sebeple hedef tasarımı oluştururken; tasarım matrisinde belirlenen katsayılar aralığında kalan tek fonksiyonel gereksinimli (ihtiyaçlı) tasarım matrisini oluşturmak oldukça kolaylaşacaktır.

Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım açısından en önemli noktalardan birisi tasarıma uygun bir tasarım parametreleri belirlenmelidir. Ardından bunlara uygun olacak şekilde süreç değişkenleri olacak şekilde sabitlenmiş ya da sağlam tasarıma uygun tasarım seçimi söz konusudur.

Enformasyon aksiyomunun en önemli ve gereken noktalarından birisi de tasarım matrisinde fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) elemanlarından birinin sistem aralığı veya tasarım aralığı içerisinde olma zorunluluğudur. Hedef tasarım içerisinde yer matris elemanlarında doğruluk ve seçim durumunda gerçekleşme ihtimali matematiksel olarak 1 (%100) enformasyon ihtiyacı ise 0 (%0) olma eğilimindedir.

Bunun sonucunda sapmanın minimum ( $\approx 0$ ) ve sistem aralığının da hedef tasarım aralığına nazaran net bir durumda küçük olduğu kanısına ulaşılır. Şayet gerçekleştirilmesi beklenen hedef tasarım için sistem aralığı tamamen tasarım aralığının içerisinde kalırsa enformasyon içeriği matematiksel olarak 0 olacaktır [11].

Hedef tasarım içerisinde enformasyon içeriğinin matematiksel olarak sıfır olmasını ve sistem aralığını tasarım aralığı içerisinde olmasını sağlayacak yöntemler:

- Tasarım parametrelerini fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ile bağlantılı hala getiren katsayının azaltılması (Rijitlik).
- Hedef tasarım içerisinde yer alan tasarım parametreleri ve üretim değişkenlerinde oluşabilecek rastgele varyasyonları ihmal etmek.
- Gereksiz olan tasarım mevcut ise fazladan yer alan tasarım parametreleri ve süreç değişkenlerini elemanlarının sistemin varyasyonlarına tesir etmemesi için sabitlenmesi.
- Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım içerisinde gerçekleşme ihtimali düşük olan tasarımlar için ek olarak yer alan ekstra tasarım parametreleri ile ilişkili rastgele değişiklikleri düşürmek maksadıyla seçilmiş olan tasarım parametrelerin değişiklikler yapılması ile telafi edilmesi gerekir.
- Hedef tasarımın fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) elemanlarının zarar verilmemesi ve buna ek olarak mümkünse tasarım aralığının genişletilmesi.

Hedef tasarımda elemansal olarak tek fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) sahip bir tasarım elemanların daha detaylandırılmış analizleri yapılabilmektedir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda gruplandırılma yapılabilmektedir.

Bu işlemler sonucunda tek fonksiyonel gereksinimli (ihtiyaçlı) hedef tasarım gerekli detaylandırma ve araştırma sonucunda çok fonksiyonel gereksinimli (ihtiyaçlı) tasarım haline getirilebilmektedir. Bu dönüşüm sonucunda tasarım hiyerarşisi açısından bir üst dalda bulunan tasarıma ulaşmak kolaylaşır. Bu durum da hedef tasarımı gerçekleştirecek tasarımcılara kolaylık sağlar [11].

### **2.3.2. Enformasyon Aksiyomunun Azaltılması**

Hedef tasarım içerisinde fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) için enformasyon aksiyomu açısından gereken enformasyon ulaşımının en yüksek ihtimalde olunan tasarımın en iyi tasarım olarak seçilebilmektedir.

Hedef tasarım içerisinde enformasyon aksiyomunu gerçekleştirmek için enformasyon içeriğinin azaltılması gerekmektedir.

Sistem aralığının fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) ile bağlantılı olarak tasarım aralığının içerisinde kalması istenmektedir ve tasarım gerçekleştirilecektir. Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım için sağlam tasarım enformasyon aksiyomunun bir sonucudur.

Enformasyon aksiyomu ile bağlantılı olarak birden fazla doğal (natural) sonuçlar yer almaktadır. Bu doğal sonuçlar:

- Fiziksel parçaların entegrasyonu
- Standartlaştırmanın sağlanması
- Simetri uygulanması
- En geniş tasarım aralığı
- Eleman olarak az enformasyon içerikli ayrıklaştırılmış tasarım [11].

Hedef tasarım içerisinde tasarım parametrelerinin eleman seçimi konusunda enformasyon içeriğinin ölçülmesi ve hesaplamalara katılarak gerçekleştirilmelidir. Seçilecek olan her bir tasarım parametresi elemanları için en optimum değer enformasyon içeriğinin azaltılarak bulunması gerekmektedir. Buna rağmen birden fazla fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) elemanı yer alıyorsa enformasyon içeriği hedef tasarım seçim elemanı olarak kullanılmaktadır.

Gerçekleştirilecek tasarımlar sonucunda enformasyon içeriğinin en az olduğu tasarımın seçilmesi önceliklidir. Hedef tasarımın gerçekleşme prosesinde enformasyon içeriği hesaplanarak tasarım gerçekleştirilmektedir [11].

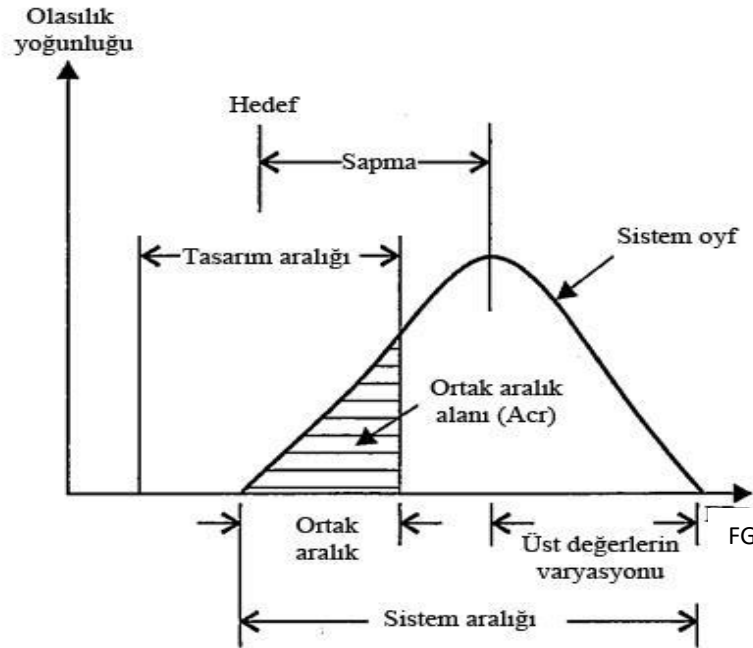
$$I_i = -\log_2 P_i \quad (2.27)$$

Yukarıdaki Denklemden (2.27); belirlenen bir fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) elemanının oluşturulması için:

**I:** Enformasyon içeriği

**P<sub>i</sub>:** Olasılık durumu

Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım için eğer sistem aralığının optimum değer aralığı (max ve min noktaları) bilinmemekte ise tasarımcılar gerçekleştirilmiş olan daha önceki tasarımlara ve öğretilmiş tasarımlara itimat etmek durumundadır. Aşağıdaki Şekil 2.11’de tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık ve olası yoğunluk fonksiyonu grafiğinde belirtilmektedir.



**Şekil 2.11.** Tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF)

Şekilde tasarım aralığı ve sistem aralığı grafik olarak tanımlanmaya çalışmaktadır. Buna ek olarak da enformasyon içeriği Denklem (2.28) [11]:

$$I = \log_2 \left( \frac{1}{A_{cr}} \right) \quad (2.28)$$

**I:** Enformasyon içeriği

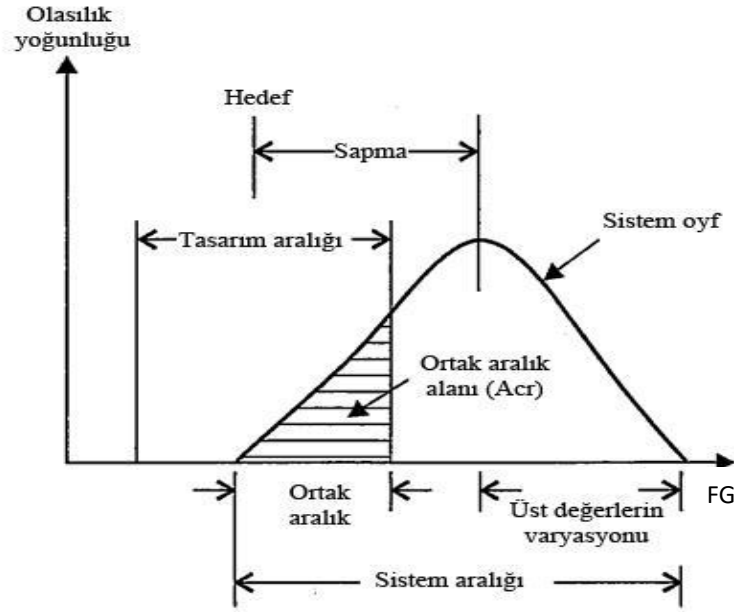
**$A_{cr}$ :** Sistem aralığı olasılık yoğunluğu fonksiyonu

Hedef tasarım içerisinde yer alan fonksiyonel gereksinim (ihtiyaçlar) elemanları açısından sistem aralığı olasılık fonksiyonu  $P_s(FG)$  olduğu zaman; fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) sürekli olarak rastgele değişken olduğunda fonksiyonel gereksinim (ihtiyaçlar) elemanlarına ulaşılma ihtimali tasarım aralığı:

$$\int_{dr_1}^{dr_u} P_{s(FG)} \times d(FG) \quad (2.29)$$

Yukarıdaki Denklemden (2.29) hedef tasarım için gerekli olan tüm tasarım aralığı sürecince sistem olasılık yoğunluk fonksiyonunun entegrasyonu sonucunda geçerli olacak olan başarı ihtimali artmaktadır.

Bir diğer ifade ile matematiksel olarak tasarım aralığına ait tasarım parametreleri elemanları alt sınırı:  $dr_1$  ve tasarım parametreleri elemanları üst sınırı:  $dr_u$  olacaktır ve bu sınırlar aşağıdaki Şekil 2.12’de belirtilmektedir.



**Şekil 2.12.** Tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF)

Şekil 2.12’de mevcut olan taralı olarak yer alan ortak alandır. Sistem aralığı olasılık yoğunluğu fonksiyonu ( $A_{cr}$ ) hedef tasarımın gerçekleşme olasılığına ( $P$ ) eşittir. Bunun sonucunda enformasyon içeriği Denklem (2.30):

$$I = -\log_2 P = -\log_2 \int_{dr_1}^{dr_u} P_{s(FG)} \times d(FG) \quad (2.30)$$

Endüstriyel anlamda fayda getirmesi beklenen ve gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım açısından en önemli olgu enformasyon içeriğini en aza indirmek gerekmektedir. Bu durum içinde sapmayı ihmal etmek ya da elimine etmek gerekmektedir. Bu duruma ek olarak da varyans azaltılmalıdır.

Sonuç olarak sistem aralığı tasarım aralığı içerisinde yer alacaktır. Şayet sistem aralığı tamamı itibarı ile tasarım aralığı içerisinde yer alırsa başarı olasılığı 1” e eşit olacaktır. Ve bu durum sonucunda enformasyon içeriği her zaman ve her durumda 0 olacaktır.

Şekil 2.13'de yer alan tescim analizi ve sistem analizi belirtilmiş olup teorik

2.15 de yer alan tasarım aralığı ve sistem aralığı belirlenmiş olup teorik

- kararı durumunun incelenmesi ve sonuclandırılması açısından hedef tasarım kar

$$P = A_{cr} = \int_{dr_1}^{dr_u} P_{s(FG)} \times d(FG) = \frac{dr^u - sr^1}{|s_r|} = \frac{|cr|}{|sr|} \quad (2.31)$$

Enformasyon içeriği (I) Denklem (2.32);

$$I = \log_2 \frac{|sr|}{|cr|} \quad (2.32)$$

Hedef tasarım açısından yapılacak olan tasarım matrisini elemanlarının eşit olan tasarım aralığı içinde her bir nokta da eşitlik söz konusudur. Buna karşın istisnai durumlarda tasarım aralığında yer alan fonksiyonel gereksinim (ihtiyaçlar) elemanlarının değeri diğer fonksiyonel gereksinim (ihtiyaçlar) elemanları değerinden daha yüksek istenilmektedir. Bunun sonucunda fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) hedef tasarım değerine yakın değerde ise; müşteri ya da yatırımcı ihtiyaçları karşılanması daha kolay hale gelmektedir [11].

Gerçekleştirilmesi hedeflenen tasarım içerisinde bağımsızlık aksiyomu sağlanmış ise tasarım içeriği ayrık olsa da enformasyon azaltılmış olacaktır. Ayrık tasarım içerisinde sistem aralığı enformasyon içeriği en az olan duruma dek tasarım parametrelerinde oluşacak değişiklikler yatay ekseninde taşınabilmektedir. Hedef tasarım içerisinde yer alan tasarım matrisinde ayrıklaştırılmış tasarım olarak kabul edilen bölümlerde tasarım parametreleri değiştirilir ve tasarım için gerekli olan aralık en az enformasyon seviyesine ulaşmak maksadıyla kaydırılabilir. Hedef tasarım açısından gerekli olan enformasyon en az ulaştığı süreçte matematiksel olarak bulunan değerler sonucunda en ideal tasarım matrisi değerlerine bulunabilir [11].

$$\sum_{i=1}^j \frac{\partial I_j}{\partial TP_i} = 0 \quad (2.33)$$

$$\sum_{i=1}^j \frac{\alpha^2 I_j}{\partial TP_i^2} > 0$$

Belirlenen hedef tasarım özelinde ayrık tasarım ise yukarıda belirtilen eşitsizliğin Denklem (2.33) matematiksel çözümünü aşamasında tasarım parametrelerine bağımlı olmadan her bir tasarım parametresi elemanı için çözüm sağlayabilmektedir. Bir diğer ifade ile serinin her bir elemanının 0 'a eşitliği söz konusudur. Ayrıklaştırılmış tasarım için ise tasarım matrisi 3'lü sisteme sahip olduğu için tasarım denklemi göz önüne ve dikkate alınmalıdır [11].

Gerçekleştirilmesi istenen hedef tasarım açısından sistem olasılık dağılımı bütünüyle tasarım aralığı içerisinde yer alıyorsa hedef tasarımın gerçekleşme ya da başarı olasılığı 1'e eşit olmaktadır. Hedef tasarım aralığının hedef değerlere yakın artması sonucu tasarım aralığı içinde kalan bölge sistem aralığı başarı ihtimali 1'e eşit olacaktır [11].

### **2.3.3. Tek Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarım İçin Tasarım Düşünceleri**

Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım içerisinde matematiksel anlamda tek fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) olduğu süreçte tasarım parametrelerinin de yanlış tercih edilmesi sebebiyle endüstriyel anlamda fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) arasında etkileşimli olarak bağlılığa yol açar. Bu durum sonucunda tek fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) içeren tasarım hedefinde en sağlam tasarımı belirleyecek olan şey doğru tasarım parametrelerini tercih etmek olacaktır. Bu durum asıl istenen hedef durumundadır. Belirlenmiş olan tasarımsal aralıkta herhangi bir değişkenden etkilenmeden fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) rastgele bir elemanını sağlayan tasarım parametreleri elde edilebilmektedir [11].

Hedef tasarımı gerçekleştirmek adına teorik olarak fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) karşılayan tasarım parametreleri içerisinde en iyi tasarım parametresi elemanı düşünülmelidir ve o eleman üzerine yoğunlaşılmalıdır.

Buna rağmen tasarım içerisinde birden fazla tasarım parametresi yer almakta ise tasarımcılara düşen en önemli sorumluluk en iyi tasarım parametresine karar vermek olmaktadır ve Denklem (2.34) 'de:

$$FG_1 = f(TP_1^a, TP_1^b, TP_1^c, TP_1^d, \dots, TP_1^n) \quad (2.34)$$

**FG:** Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar)

**TP:** Tasarım Parametreleri

**\$:** Parantez içerisindeki tasarım parametreleri elemanları arasında rastgele seçilmiş olanın fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) elemanlarından birinin sağlanacağını temsil etmektedir [11].

Hedef tasarımın gerçekleştirilmesi ile ilgili önemli noktalardan birisi de enformasyon aksiyomudur. En az enformasyon içeriğini sağlayan tasarım parametresi seçilmesi ve üzerine odaklanılması gereken elemandır. Sonuç olarak en büyük ortam aralığının altında kalan alan ( $A_{cr}$ ) olan tasarım en iyi tasarımı ya da seçilmesi gereken tasarımı belirtmektedir.

Eğer Denklem (2.35):

$$(A_{cr})_a > (A_{cr})_b \quad (2.35)$$

$TP_1^a$  'dan  $TP_1^b$  'ye kadar

Hedef tasarım içerisinde sistem aralığı ( $S_r$ ) bölgesel olarak tasarım aralığı ( $D_r$ ) içerisinde kaldığı durumlarda tasarimsal olarak fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) gerçekleştirme ihtimali sisteme ait olan olasılık yoğunluk fonksiyonundan ( $S_{oyf}$ ) bağımsız bir halde matematiksel olarak kesindir (1'dir) [11].

Hedef tasarım içerisinde şayet sınırlar geçmiyor ise ( $TP_{1a}, TP_{1b}, TP_{1c}, \dots, TP_{1n}$ ) tasarım aralığında  $C_r = S_r$  koşulunu gerçekleştiren en iyi tasarım parametresi tercih edilmelidir. Şayet  $C_r < S_r$  olduğu durumda ise  $FG < 1$  gerçekleşme ihtimali en yüksek olan ortak aralığın altında kalan bölge ( $A_{cr}$ ) incelenir ve gerçekleştirilmesi hedeflenen en iyi tasarım belirlenir [11].

Eğer ki hedef tasarım içerisinde tasarım sınırları (kabul edilebilecek en düşük ve en yüksek değerler) mevcut ise sınırlar aralığı kabul edilmelidir. Bu sınırları oluşturan parametreler ise tasarım parametreleridir. Tek fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) sahip olan bir tasarımın asıl hedefi daha önceleri tanımlanmış olan tasarım parametrelerine göre belirlenen fonksiyonel ler (ihtiyaçları) matematiksel anlamda sağlamak olmaktadır.

AT metodu içerisinde en ideal (optimum) tasarım fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) ve minimum enformasyon içeriği değerlerini gerçekleştiren tasarım olarak ifade edilmektedir [11].

#### **2.3.4. Tek Fonksiyonel Gereksinimli (İhtiyaçlı) Tasarım veya Enformasyon Aksiyomu**

Hedef tasarım içerisinde yer alan enformasyon aksiyomu; tasarım için gerekli olan enformasyon içeriğinin en az olması gerektiğini ifade etmektedir. Enformasyon içeriğinin gerçekleştirilme ihtimalinin matematiksel alanda logaritmik fonksiyondur. Bu durum nedeniyle gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım ya da tercih edilecek en iyi tasarım sıfır enformasyon içeriğine sahip olan tasarımdır [11].

Tek fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) sahip olan tasarımda alt ve üst sınırları ihlal etmeden fiziksel alanda yer alan tasarım parametrelerini tanımlayarak ya da haritalayarak bir fonksiyonel gereksinimi (ihtiyacı) karşılamak gerekmektedir.

Bu şartlar altında enformasyon içeri her koşul ve durumda sıfıra eşit olmak zorundadır. Hedef tasarım içerisinde ve tasarım sürecinde çeşitli değişkenler ve fiziksel sınırlamalar yer aldığı durumlarda belirli bir Tasarım Parametresi (TP) için Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar) (FG) Sistem Olasılık Fonksiyonel Yoğunluğu ( $\mathcal{S}_{OYF}$ ) geniş bir aralıkta değişkenlik gösterebilir [11]. Tek fonksiyonel gereksinime (ihtiyaca) ve tek tasarım parametresine sahip bir tasarım içerisinde Denklem (2.36);

**$FG_1$** : Tek fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) elemanı

**$TP_1$** : Tek tasarım parametresi elemanı

**$A_{11}$** : Katsayı olmak üzere

$$FG_1 = A_{11}TP_1 \quad (2.36)$$

Ya da matematiksel anlamda Denklem (2.37) diferansiyel denklem olarak;

$$dFG_1 = \frac{\partial FG_1}{\partial TP_1} dTP_1 \quad (2.37)$$

Denklem (2.38)  $A_{11}$  ile  $\partial FG_1 / \partial TP_1$  ile bağlantılı olarak  $TP_1$ ’e bağlı bir şekilde dağılım yapılırsa;

$$\frac{\partial FG_1}{\partial TP_1} = A_{11} + \frac{\partial A_{11}}{\partial TP_1} TP_1 \quad (2.38)$$

Ardından Denklem (2.39):

$$dFG_1 = (A_{11} + \frac{\partial A_{11}}{\partial TP_1} TP_1) dTP_1 = \frac{\partial FG_1}{\partial TP_1} dTP_1 \quad (2.39)$$

Matematiksel olarak yazılabilmektedir.

Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım matematiksel anlamda şayet lineer tasarım olması durumunda  $A_{11}$  katsayısı sabit bir değer alacaktır ve  $\partial FG_1 / \partial TP_1$ ’e eşit olmak durumunda olacaktır.

Gerçekleştirilmek istenen hedef tasarım matematiksel olarak lineer olmayan bir tasarıma sahip ise  $A_{11}$  ve  $\partial FG_1 / \partial TP_1$  ifadesi  $TP_1$ ’ in bir fonksiyonu olarak değişim gösterecektir.

Matematiksel olarak ifade edilen hedef tasarım için sistem aralığının oluşturduğu alan sistem olasılık yoğunluk fonksiyonu açısından tasarım aralığı  $\Delta FG_1$  elemanlarını tam olarak karşılayamayabilir. Bunun yanı sıra sistem olasılık yoğunluk fonksiyonu ortalaması hedef tasarım elemanlarından da ( $FG_1$ ) farklılık gösterebilir.

Bu durumda tek fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) içeren tasarım için tasarım parametresi ( $TP_1$ ) elemanlarını değiştirip sistem içerisinde yer alan sapmayı yok etmek gerekmektedir [11]. Sistem içerisinde oluşabilecek varyansı azaltmak içinde başta tasarım parametresi ( $TP_1$ ) elemanlarının rastgele değişkenlerini azaltmak gerekmektedir.

Buna ek olarak tasarım parametresi elemanlarına bağlı olarak değişkenlik gösteren fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) ( $FG_1$ ) elemanlarının üst sıra türevlerini (değişimlerini) azaltmak gerekmektedir. Sonuç olarak;  $A_{11} \partial FG_1 / \partial TP_1$  (matematiksel çarpımı) düşürülmelidir. Hedef tasarım içerisinde kabul edilebilir bir orana sahip olması adına;  $A_{11}$  katsayı elemanı kabul edilebilir düzeyde büyük olmalıdır [11].

Varyans(S): Matematiksel anlamda standart sapmanın ( $\sigma$ ) karesidir.

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (FG_{1i} - FG_{1ort})^2 \quad (2.40)$$

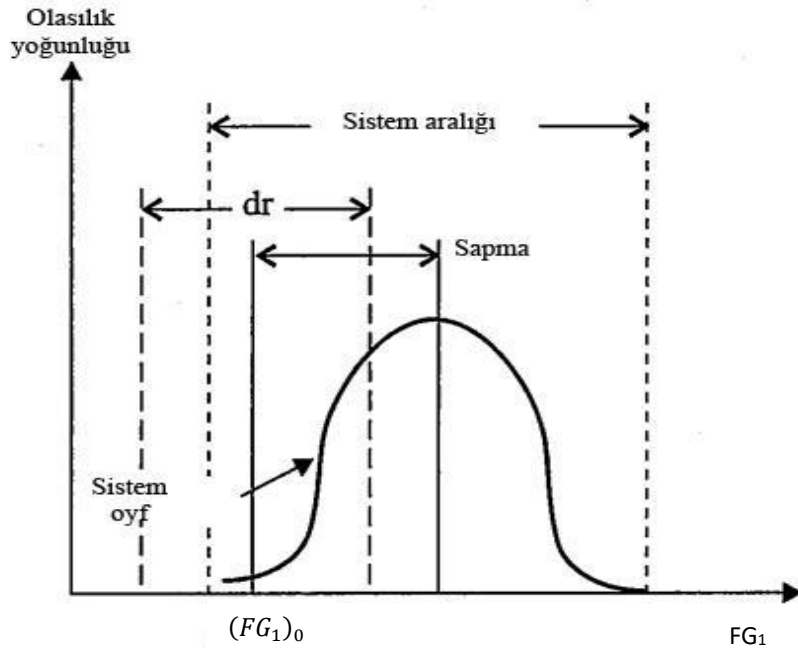
Denklem (2.40) şeklinde ifade edilir.

$FG_{1i} = FG_1$  Ve fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) elemanlarının ortalaması ( $FG_{1ort}$ ) N ölçüsünün i'değeri=N ortalama değerini karşılamaktadır.

Sistem varyansına etki eden birden fazla bağımsız olması durumunda sistemin toplam varyansı: Denklem (2.41)'da gösterilmiştir.

$$(S_{top})^2 = \sum (S_i)^2 \quad (2.41)$$

Olarak ifade edilir.



Şekil 2.14. Sistem aralığı ve tasarım aralığı

Fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) sistem ortalaması ile hedef değer  $(FG_1)_0$  arasında kalan fark sapmadır. Sistem aralığının ve tasarım aralığının yer aldığı fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) sistem içerisindeki ortalama ile beraber hedef tasarım içerisindeki sapma değeri Şekil 2.14’de belirtilmektedir. Gerçekleştirilmesi istenen hedef tasarım içerisinde tasarım aralığı  $\Delta FG$  ile sistem aralığı  $S_r(FG)$  olarak tayin edilirse enformasyon içeriği matematiksel anlamda sıfırdır.

Eğer;  $\Delta FG > S_r(FG)$  ve sapma matematiksel olarak sıfıra eşittir. Sonuç olarak tasarım için karar verilir ve geçerlilik kazanır.

Aksiyomatik Tasarım bilinen anlamda sağlam tasarım için gerekli olan fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) her durum ve koşulda karşılaması beklenen bir tasarım metodudur. Matematiksel anlamda  $\Delta FG > S_r(FG)$  koşulu sağlanmak durumundadır.

Tasarımsal olarak belirlenmiş olan alt ve üst sınırlar yani tolerans değerlerine bağlı olarak  $\Delta TP; A_{11}$ ’in matematiksel değeri (rijitliği=sağlamlığı) ve fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) tasarım aralığı değeri Denklem (2.42) ile hesaplanır.

$$\Delta TP = \frac{\Delta F}{A_{11}} \quad (2.42)$$

Bu denklem doğrultusunda gerçekleştirilmesi istenen hedef tasarım için tolerans değerlerini  $\Delta TP$  olabildiğince geniş bir bantta tutmak olmalıdır. Hedef tasarım içerisinde rijitliğin sağlanması gerçekleştirilerek tasarım parametreleri elemanları içerisindeki rastgele değişkenler ile beraber fonksiyonel gereksinim (ihtiyaç) elemanlarında oluşabilecek değişkenler en aza indirgenmelidir. Burada sapma tasarım parametreleri elemanlarının ortalama değerleri değiştirilerek minimize edilebilmektedir [11].

## 2.4. Aksiyomatik Tasarım Enformasyon İçeriğine Yeni Yaklaşımlar

### 2.4.1. Kullback Enformasyon Yöntemi ile Enformasyon Aksiyomu

Literatürde Kullback matematiksel olarak ifade edilen bir olasılık elemanının bir değeri üzerinde baskın görülmesi ve ayırt edilmesi amacıyla enformasyon ölçümü yöntemini ortaya atmıştır. Olasılık içerisinde n farklı değeri karşılayabilen  $x_i$  elemanı için

$p_i = p(x_i)$  ve  $q_i = q(x_i)$  olasılık denklemlerini ifade etmektedir.

Bu Denklemlerden (2.43) yararlanarak elde edilecek olan ortalama enfomasyona Kullback ölçümü denilmektedir [22].

$$I(p||q) = \sum_{i=1}^n p_i \log\left(\frac{p_i}{q_i}\right) \quad (2.43)$$

Enfomasyon ölçümü  $p_i = q_i$  eşit olma durumunda matematiksel olarak 0'dır.

Kullback  $p_i$  ile  $q_i$  arasındaki olasılık dağılımlarını dikkate alarak ortalama enfomasyon üzerine hesaplamalar ortaya koymuştur. Ortalama enfomasyonu referans olarak sistem içerisinde simetrik ayrıklık olarak adlandırdığı Denklemi (2.44) öne sürmüştür.

$$j(p||q) = I(p||q) + I(p||q) \quad (2.44)$$

Yukarıda yer alan denklem sayesinde karar vericiler olasılıkların dağılımları arasındaki uzaklık ve yakınlığı, hedef tasarımın gerçekleşme ihtimali üzerine enfomasyon sahibi olabilmektedirler [24].

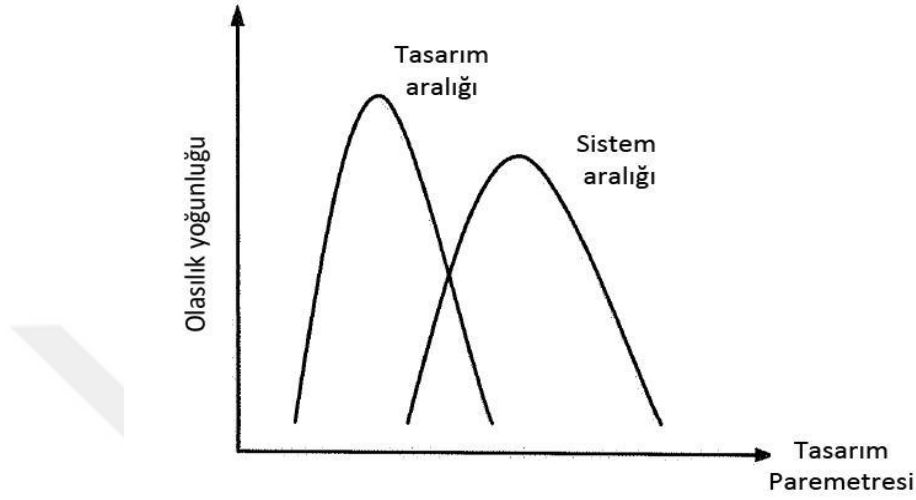
Kullback enfomasyon ölçümü  $I(p||q)$  Denklem (2.45) yardımı ile hesaplanabilmektedir:

$$I(p||q) = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sigma_p^2 + (m_p - m_q)^2}{\sigma_q^2} - 1 - \log\left(\frac{\sigma_q^2}{\sigma_p^2}\right) \right] \quad (2.45)$$

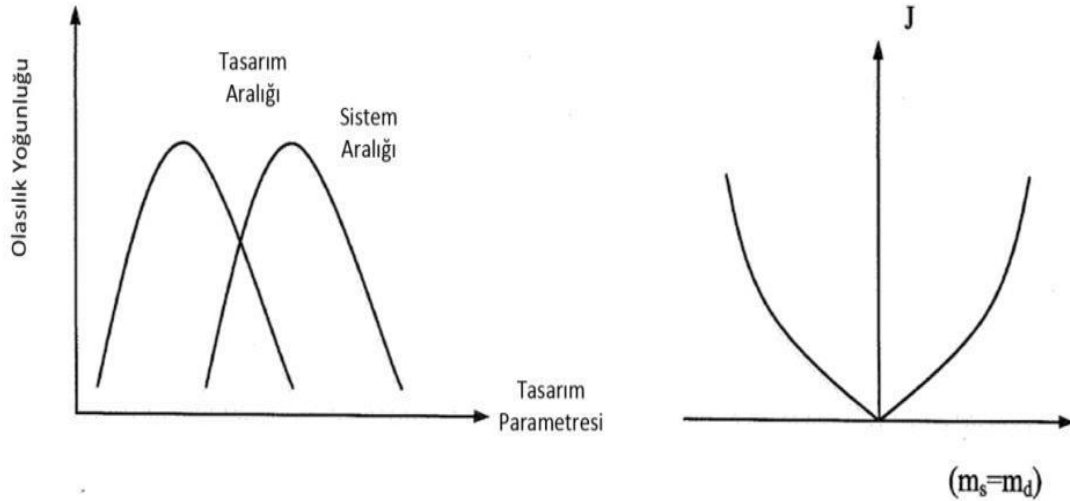
Sistem içerisinde yer alan olasılık simetrik ayrıklık dağılımı  $J(p||q)$  ise Denklem (2.46) yardımı ile:

$$J(p||q) = \frac{1}{2} \frac{(\sigma_p^2 - \sigma_q^2)^2 + (m_p - m_q)^2(\sigma_p^2 + \sigma_q^2)}{\sigma_p^2 \sigma_q^2} \quad (2.46)$$

Denklemler ışığında yer alan elemanlar için Kullback ayrılığı tasarımcılar tarafından kabul edilen gereksinimleri (ihtiyaçları) karşılayacak olan enformasyon içeriği ölçümü olarak kabul edilmektedir ve Şekil 2.15’de belirtilmektedir. Bununla olasılık fonksiyonu Şekil 2.16’da yer almaktadır [24].



**Şekil 2.15.** Tasarım aralığı ve sistem aralığı olarak Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu grafiği



**Şekil 2.16.** Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu ve enformasyon ölçümü grafikleri

Şekillerde yer alan  $m_s$  ve  $m_d$  olasılık fonksiyonunun sınır değerleridir. Bir diğer ifade ile fonksiyona ait alt ve üst sınır değerleridir [25].

#### 2.4.2. Aksiyomatik Tasarım ve Taguchi Tasarımı Arasındaki Enformasyon Bağıntısı

Literatürde Taguchi yöntemi ile beraber sağlam tasarım hedef tasarımın ürün ve imalat süreçlerini daha fazla geliştirmek üzere uygulanmaktadır. Bu yöntem verimli ve sistematik olarak oluşturulmuş olunan bir süreç tasarımıdır. Taguchi yöntemi kalite tasarımı üzerinde gerçekleştirilmiş olan genel manada kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem aşamaları açısından kalite yöntemlerinin ve mühendisliğin genel yapısı itibarı ile hedef tasarımlarının ideal performanslarının yükseltilmesini hedeflemektedir. Taguchi yöntemi yatırımcılar ve müşteriler açısından kaliteyi tanımlamak ve öngörmek amacıyla kalitenin ölçümünü gerçekleştirmek için kullanılmaktadır.

Bu yöntemde hedef tasarım veya gerçekleştirilmesi istenen ürünler için fonksiyonel varyasyonlara (değişkenlere) ve faydası olmayan yan etkilere görece tasarimsal kayıpları belirleyerek ölçümler gerçekleştirilmektedir.

Denklem (2.47) ile:

$$q = k(y - m)^2 \quad (2.47)$$

**q:** Matematiksel olarak Sapma

**k:** Matematiksel olarak Kalite kaybının katsayısı

**y:** Matematiksel olarak Kalite kaybı fonksiyonu ortalama değer

**m:** Matematiksel olarak istenen ortalama değer [25].

Hedef tasarımın kalitesi içerisinde yer alan varyans ( $\sigma^2$ ) ise Hunter Denkleminde yer alan Denklem (2.48);

$$Q = k[(y - m)^2 + \sigma^2] \quad (2.48)$$

Hedef tasarım içerisinde enformasyon ölçümü oldukça önemli bir olgudur. Gerçekleştirilmesi beklenen ve istenen tasarımın veya ürünün kalite kaybının üretim sonucunda yer alan enformasyon içeriği ile bağlantılı olarak değişim gösterir.

Kalite kaybı fonksiyonu için gereken enformasyon içeriği karar vericiler ve tasarımcılar açısından tespit edilmiş olan varyans ile de ters orantılı olarak değişim gösterir.

Bu bağlantılar sonucunda Taguchi'ye ait kalite kaybı fonksiyonu ile hedef tasarıma ait enformasyon içeriği birbirleri ile doğrudan bağlantılı olarak değişim göstermektedir. Birden fazla değişkene sahip olan hedef tasarım için ise söz konusu durum ilk önce bağımsızlık aksiyomunun gerçekleştirilmesi gerektiğini belirtir.

Bağımsızlık aksiyomu sağlandıktan sonra sapmalar ve değişkenler indirgenerek matematiksel hesaplamalar uygulanabilir. Bu durum sonucunda da hedef tasarım gerçekleştirilebilmektedir [25].

Hedef tasarım için gerçekleştirilmek istenen sağlam tasarımda Taguchi Yöntemi ile matematiksel anlamda üç türde sonuç (sinyal /gürültü=S/N) ortaya atılmıştır. Bunlar:

Nominal ve en iyi durum ise Denklem (2.49) 'de:

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left( \frac{\bar{y}}{s_y^2} \right) \quad (2.49)$$

En büyük ve en iyi durum ise Denklem (2.50)'da:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.50)$$

En küçük ve en iyi Denklem (2.51):

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2.51)$$

### 3. CNC TORNA TEZGÂHI VE SAHA ARAŞTIRMASI

Bu bölüm iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada CNC Torna Tezgâhı anlatılacaktır. Ardından gelecek olan ikinci bölümde ise CNC Torna Tezgâhı seçimi için gerçekleştirilen saha araştırması ve anket çalışması anlatılacaktır. Üretimi gerçekleştirilmek istenen parçaların detaylandırılacağı bölümde hem parça özellikleri hem de CNC Torna Tezgâhı seçimi için gerekli olan hesaplamalar aktarılacaktır.

#### 3.1. İmalat Süreci ve Torna Tezgâhı

Tarihsel süreçler boyunca insanoğlu her zaman bir şeyleri üretme ve icat etme çabası içerisine girmiştir. Bu çaba gerçekleştirilen keşifler ve buluşlar aracılığı vasıtasıyla taçlandırılmıştır. Gelişen teknolojiye de bağımlı olarak süre gelen zaman içerisinde insanoğlu hep bir adım ilerisine gitmeyi hedeflemiştir. Bu hedef doğrultusunda başta deneme-yanılma yöntemi olmak üzere birçok metot yardımı ile daha doğru ve daha kolay olan yola ulaşmayı planlamışlardır. Tarihsel süreç içerisinde insanoğlu bir şeyleri üretme ve gerçekleştirebilme gayreti içerisinde bulunmuştur. Bunun ilk örneklerini tarih öncesi çağlarda da görebilmekteyiz. Örnek olarak tarih öncesi çağlarda gerçekleştirilen yontma taş devrinde yaşamış olan insanoğlu buldukları taşları yontma işlemi sonrasında alet ve edevat üretimini başarmıştır. Bu işlemler tarihte bilinen ilk imalat yöntemleri içerisinde yer almaktadır.

Çağların ilerlemesi ile beraber insanoğlu kullandığı malzeme için taş yerine önceleri bakır sonrasında tunç ve demir olmak üzere birçok çeşitte malzemeyi kullanmıştır. Önceleri kullanılan bakır malzemesinin sertliğinin düşük ve şekil vericiliğinin kolay olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bakır malzemesinin kalay çinko gibi malzemeler ile karıştırılması sonucu sertliği artmaktadır. Sertliğinin artırılması sonucunda tunç devrine geçilmiş olup ve bronz malzemeler kullanılmıştır. Sertlik ve dayanıklılığın diğer malzemelere göre en yüksek olduğu demir çağı ilk kalite etken durumunu belirlemektedir. Kullanım açısından malzemelerin dayanıklılığına bağlı olarak demir malzemesinin keşfi ve demirden üretilen aletler o dönemdeki insanoğluna oldukça fayda sağlamaktadır.

Tarihsel çağlarda kalite faktörü malzemenin dayanıklılığı ve kullanışlılığı ile yeterli gelmektedir. Gerek malzeme bilgisinin gelişmesi gerekse de insanoğlunun merakı ile beraber elle tutulabilir bir şekilde imalat yöntemleri ve metotları ortaya konulmuştur.

Daha önceleri gerçekleştirilen kullanılabilirlik ve dayanıklılık olan kalite faktörü imalat ve imalat yöntemlerinin gelişmesi ile beraber yerini maliyet ya da ekonomik fayda, seri ya da çoklu üretim gibi değişkenlere bırakmıştır.

Malzeme imalatı içerisinde endüstriyel anlamda fayda sağlayan firmalar süreç boyunca iki metot üzerinde konumlanmıştır. Malzeme imalatı: eksiltmeli imalat ve eklemeli imalat olmak üzere iki kısımda toplanmıştır.

*Eksiltmeli imalat:* Stok diye adlandırılan belirli uzunluklara göre kesilen ya da işlenmeyen malzemelerin üzerinden veya belirli kesitlerinden istenilmeyen parça ve kısımların belirlenmiş olan derinlikler doğrultusunda kesim işlemidir. Eksiltmeli imalat günümüz teknolojinin gelişmesi ile beraber tornalama, frezeleme, diş açma, kılavuz çekme gibi işlemleri kapsayan işlem türüdür. Bu işlemler esnasında stok parça üzerinden istenilmeyen kısımların talaşların arındırılması işlemine de denilmektedir. Bu imalat yöntemi günümüzde oldukça yaygın olan ve başta torna tezgâhları, dik işleme, planyalama tezgâhları vasıtası ile gerçekleştirilmektedir.

Gelişen teknoloji ve üretim yöntemlerinin iyileştirilmesi sektöre son yıllarda yeni bir yöntem ortaya koymuştur.

*Eklemeli imalat:* Filamet olarak adlandırılan malzeme parçaları ya da ipliklerin belirlenmiş sıcaklık ve basınç altında üst üste sıra dizilmesi sonucu gerçekleştirilen parça üretimidir. Endüstriyel anlamda fayda sağlamak isteyen firmalar yatırımlarını eklemeli imalat yöntemini gerçekleştiren 3D Printer (D: Dimensional) ya da 3 Boyutlu Yazıcı olarak adlandırılan makinelerle yapmaktadır.

Endüstriyel ortamda ve ülkemizde kullanılan malzemeler üzerinden parça koparılmasının esas alındığı eksiltmeli imalat metodu yaygın olarak kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Eksiltmeli imalat metodu içerisinde üretim alanı için kullanışlı olan talaşlı imalat tercih edilmektedir. Talaşlı imalat içerisinde yaygın olarak kullanılmakta olan makineler torna, dik işleme ve var-gel olarak adlandırılmaktadır. Bu tezgâhlar isimleri ile özdeşleşmiş olan üretim yöntemini de içermektedir. Örnek olarak torna tezgâhının yaptığı iş yöntemi tornalama olarak adlandırılmaktadır.

Gelişen teknoloji sayesinde bir tezgâhta birden çok iş ve yöntemin birleştirilmesi sonucu tezgâhlar açısından daha fonksiyonel bir anlam katmaya başlamaktadır. Gerek iş ve yöntemin birleştirilmesi gerekse de birden çok parçanın eş zamanlı olarak tezgâha bağlanıp işlenmesi gelişen teknolojinin insanoğluna sunduğu faydalardan birkaçı olmaktadır.

İmalat: Genel anlamda istenilen parçayı bir veya birden çok çeşitte yöntem ve metot kullanılarak ya da teknik anlamda işlenerek üretmek olarak bilinmektedir. Bu işlemler içerisinde endüstriyel anlamda ekonomik fayda sağlamak isteyen firmalar en yüksek verimli işleri yapmayı amaçlamaktadır.

Verimden anlatılmak istenen en kısa sürede en iyi işi çıkarmak amaçlanmaktadır. İmalat içerisinde birçok çeşitte işler yapılmaktadır. Bu işler prototip ürünler, tekli ürünler ya da seri üretimler olarak çeşitlendirilmektedir. Seri üretimler içerisinde üretimi istenen parçalar içerisinde işlenme özelliklere göre gruplandırma yapılmaktadır. Gruplandırılma işlemleri sadece işlem açısından değil parçaların özelliklerine göre de yapılmaktadır. Parça özellikleri olarak işlenilmesi istenen çap ve boy özelliklerine göre takım oluşturulur ve işleme alınır. Bu durum birden çok parçanın üretilmesi için oldukça fayda sağlamaktadır. Endüstriyel anlamda fayda sağlamak isteyen firmalara bu durum zamandan tasarruf etmektedir. Az zaman içerisinde parça gruplandırılması yapılarak çok fazla ürün ortaya konulmaktadır. Torna Tezgâhı elemanlarında da açıklanacak olan parçaların üretilmesi içerisinde parçayı tutan ve sabitlemeye yarayan ayna denilen elemanlar vardır. Üretilmesi istenen parçaların çap ve boylarına göre bu ayna elemanları ayarlanır ya da düzenlenir.

Farklı çaplara ve boylara göre üretilmek istenen iş emirleri, iş parçaları gruplanır sıralanır ve işleme alınır. Böylelikle endüstriyel fayda sağlayan firmalar imalat esnasında en önemli faktör olan zamandan tasarruf sağlamaktadır. Zamandan tasarruf daha fazla iş üretmeye parça üretmeye imkân bulmaktadır.

### **3.1.1. Tornalama ve CNC Torna Tezgâhı**

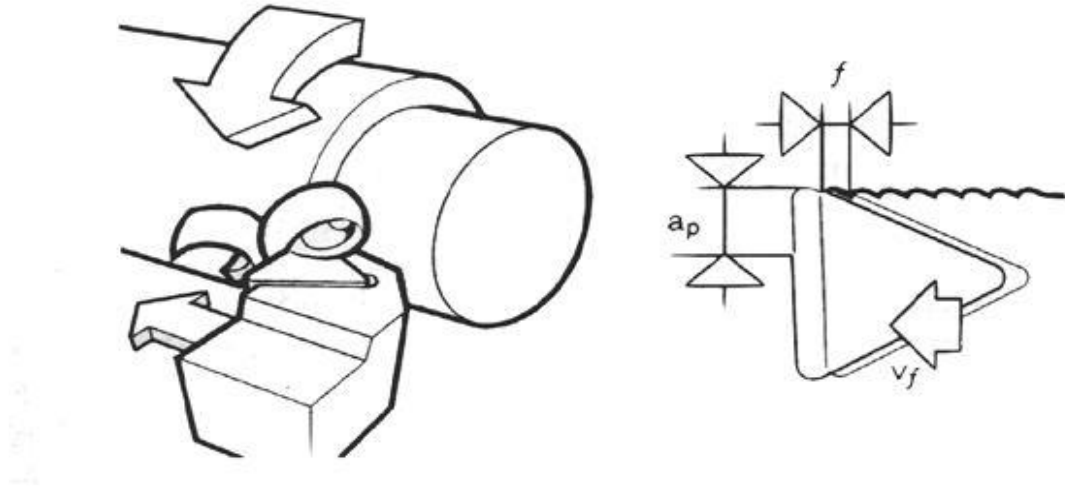
Talaş kaldırma işlemi stok parça üzerinden istenmeyen kısımların uzaklaştırılması işlemidir.

Bu işlem esnasında bazen iş parçası sabit kalıp kesici takım dönerek talaş kaldırırken bazen de iş parçası döner kesici takım talaş kaldırır. Tornalama işlemi esnasında iş parçası aynaya bağlı olarak dönerken kesici takımlar sabit kalır.

Tornalama da iş parçası genellikle dairesel yapıda olan bir forma sahiptir. Belirli çap uzunluğu ve belirli boy uzunluklarına sahip stok parçalar işleme alınmaktadır. İş parçaları üç boyutlu yapıda daha çok silindirik denilen parçalardan oluşmaktadır. Bu silindirik parçalar torna tezgâhı içerisinde ayna denilen yapılara bağlıdır. Ayna yapısı genellikle teknik anlamda üç ya da dört yapıya çene veya ayak denilen eleman aracılığı ile tutulur. Bu ayaklar sayesinde iş parçası ile tezgâh arasında bir bağ kurulur ve işlem başlatılır. İş parçası tezgâh içerisinde tezgâhtan gelen güç sayesinde ayna dönüşü ile hareket kazanır.

Aynanın dönmesi ile iş parçası kendi eksenini etrafında işlem için gerekli olunan hızı kazanmış olmaktadır. Bu eksene bağlı olarak tezgâh içerisinde yer alan kesici takımlar genellikle hareketsiz olup dönüş yapan parça üzerinden talaş kaldırılır.

Tornalama işlemi tarihsel olarak NC olarak adlandırılan Numerical Control bir diğer ifade ile sayısal kontrollü tezgâhlar olarak işlem yapmaktadır. Ayna üzerinde sabitlenmiş olunan iş parçasının belirli noktalarından sıfırlama denilen işlemler yapılmaktadır. Sıfırlama işlemi matematiksel olarak işlem uzayı içerisinde parçaların koordinatlarının sıfırlanmasıdır. Sıfırlamanın önemi Torna Tezgâhı operasyonların başlamasını ve başlangıç noktasının sağlandığı işlemdir. Teknolojinin gelişmesi ile beraber Numerical Control kendini Computer Numerical Control (CNC)'lere bırakmaya başlamıştır. Sayısal Kontrol işlemi teknoloji ile beraber Bilgisayarlı Sayısal Kontrol işlemine bırakmaya başlamıştır. CNC Tezgâhlar NC Tezgâhlara göre işlem hızı kazandırmıştır ve buna ek olarak daha kısa sürede daha fazla iş yapabilmeyi ortaya koymuştur. Teorik anlamda torna tezgâhlarının çalışma mantığı Şekil 3.1'de belirtilmektedir.



**Şekil 3.1.** Tornalamada talaş kaldırma işlemi

Torna Tezgâhlarının avantajları şu şekildedir:

- Operasyon uzayında matematiksel koordinatların belirlenmesi
- Manuel ya da elle gerçekleştirilecek olan hareketler sebebiyle oluşacak olan zaman kayıplarını olabildiğince azaltmak
- İnsan etmenini azaltıp operasyonları makine kontrolüne bıraktığı için insan hatalarını ve kişisel hataları minimize eder
- Seri ve hassas imalata olanak tanır
- Alanında uzman ve usta kişilere olan ihtiyacı azaltmayı sağlamaktadır
- Süre bazında uzun çalışma süresine sahiptir
- Kararlı ve belirli düzeyde hassas ürünleri üretmeye olanak sağlamaktadır
- Enerji harcaması minimum düzeyde olmaktadır
- Her parça üretimi için ayrı ayrı ürün kalıbına ihtiyaç yoktur ve bundan dolayı iş parçası imalatı daha ucuzdur
- İş parçası işlenirken operasyon kodları tezgâh üzerinde ya da hafızalarda depolanabilir. Bu sebeple bir operasyon kodu birden fazla ve tekrar tekrar kullanılabilir
- Esnek imalata (flexible manufacturing) olanak sağlamaktadır [48].

### 3.1.2. Tezgâh Özellikleri

CNC Torna tezgâhları bilimsel anlamda çalışmalara oldukça uygun makinelerdendir. Endüstriyel anlamda tezgâhları iyileştirmek, daha fazla verim almak adına deneysel çalışmalara oldukça uygun olan CNC Torna Tezgâhları gerek ürünler gerek ise kesici takımların daha çok geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

Gelişen teknolojinin en önemli uygun adımlarını bu tür tezgâhlarda görmek mümkündür. Parçalar üzerindeki kaliteyi arttırmak, daha hassas ve toleranslara uygun malzemeleri üretmek CNC Torna Tezgâhları üzerinde etkin durumlardan birkaçıdır. Bu tür tezgâhlarda üretilmek istenen parçalar önemli olduğu kadar tezgâhlarda oldukça önemlidir.

Tezgâhlar yapılacak işe ya da ürüne uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. İş ve üründen anlatılmak istenen; eğer ki işlenen parçalar mukavemet açısından dayanıklı ürünler ise tezgâhın sahip olacağı gücün de yüksek olması gerekmektedir. Bir diğer örnek ise; işlenmesi istenen parça ebat olarak büyük ise işlem uzayı ya da teknik anlamda operasyon uzayının da malzeme boyutuna uygun olarak büyük olması gerekmektedir.

Buna ek olarak örneğin; işlenmek istenen parça kütle olarak ağır ise bağlanacak olan ayna çenelerinin kavramasının kuvvetli ve parçayı döndürecek tezgâhında güçlü olması beklenmektedir.

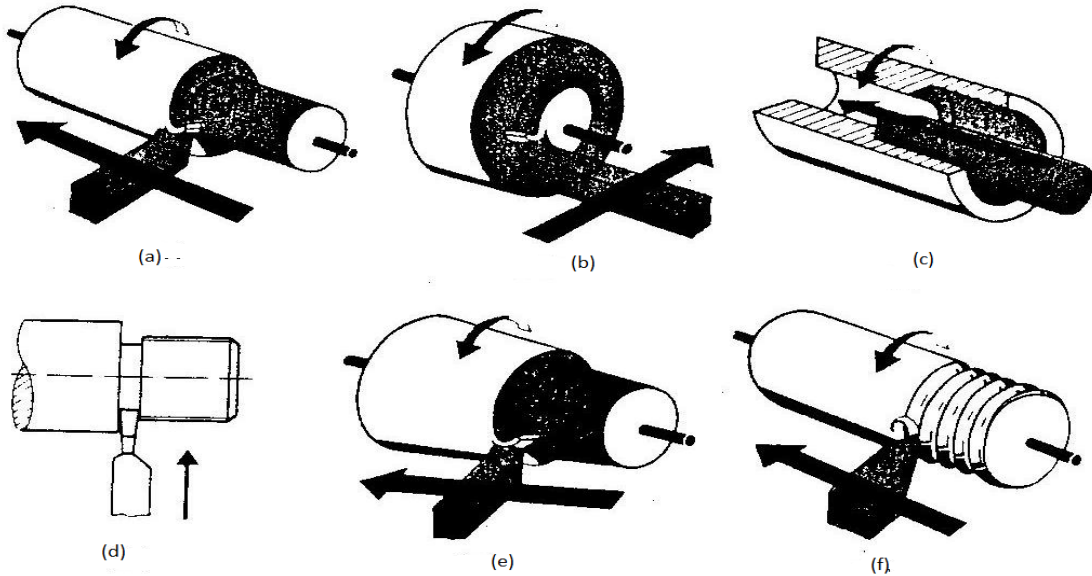
CNC Torna Tezgâhları aynaya bağlı parçaların aksel olarak kesici takımların sabit kalması sonucunda parça yüzeyinden talaş kaldırılması esasına dayanmaktadır. Kesici takımlar parça ile temas eden noktalara sahip olduklarından dolayı işleme maliyetleri açısından oldukça önem arz etmektedir. Kesici takımları aşınması ve dayanıklılığı üzerine de bugüne kadar oldukça fazla sayıda araştırma ve deney yapılmıştır. Üretilmesi hedeflenen parçaların özelliklerine göre kesici takımlarda çeşitlilik göstermektedir. Kesici takımların sürtünmeler sonucundaki aşınmaları veya bir diğer ifade ile takım ömrünün kısılması endüstriyel kazanç sağlamak isteyen kurum ve kuruluşlara birer maliyet oluşturur. Bu durum sonucunda operasyon maliyetleri veya giderleri oluşturulur. Amacı endüstriyel kazanç sağlamak olan bu türdeki firmalar gider kalemlerini küçültmek adına kesici takımlara oldukça önem vermek durumundadır fakat bütün bu önemlere rağmen kesici takımlar parçalar ile bire bir temas oluşturdıklarından dolayı aşınmaların önüne geçilememektedir [49].

Torna Tezgâhlarında yapılan işlemler boyuna tornalama; silindirik parçaların uzunluklarından kaldırılan talaşlardır. Bir diğer ifade ile boy küçültme işlemidir. Torna Tezgâhlarında alın tornalama, silindirik parça üzerinden ön yüzünde kaldırılan talaşlardır. Bir diğer ifade ile çap küçültme işlemidir. Torna Tezgâhlarında ki işlemlerden biri de delik delmedir. Delik delme silindirik parça merkezinden parçanın boşaltılmasıdır ve talaş kaldırma işlemidir.

Torna Tezgâhlarında bir diğer işlem türü kanal açmaktır. Kanal açma silindirik parçanın belirlenmiş noktalarından belirli çap küçültme işlemidir. Endüstriyel ürünlerde iç içe geçmeli olarak anılan çoğu zamanda dişi-erkek denilen sistemlerde kullanılmak üzere gerçekleştirilen operasyon işlemidir.

Bu işleme ya da operasyona fatura çekmek de denilmektedir. Torna Tezgâhlarında yapılan işlemlerden bir diğeri ise vida çekmektir. Silindirik parçalar üzerinden vida kanalları ve adımları oluşturularak erkek ve dişi vida çekilebilmektedir. Dişi vida operasyonu vida çekme işleminin iç çapında gerçekleştirilmektedir.

Erkek vida ise daha çok dış çapta yapılmak olup bu işlemlerde pafta ve kılavuz olarak denilen ek aparatlar vasıtası ile de gerçekleştirilebilmektedir ve bu işlemler Şekil 3.2’de gösterilmektedir [50].



**Şekil 3.2.** Tornalama işlemleri A)Boyuna, B)Alın, C)İç, D)Fatura veya Kesme, E)Konik, F)Vida

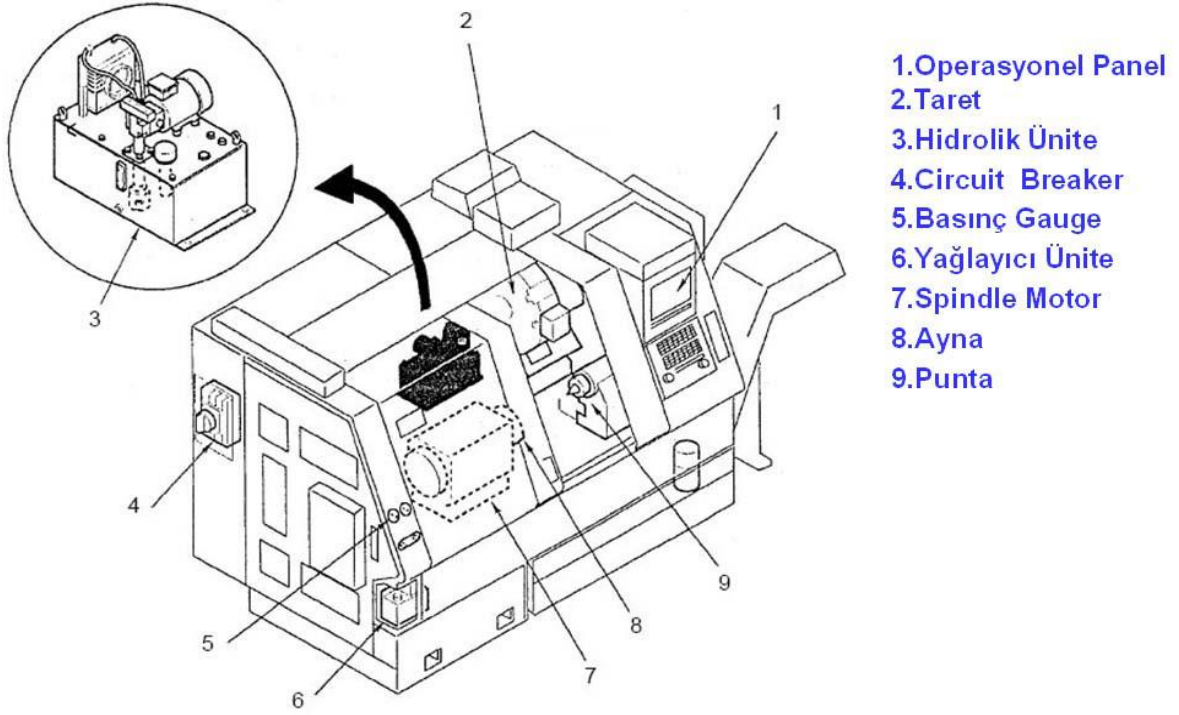
### 3.1.3. Tezgâha Ait Elemanlar

CNC Torna Tezgâhları kendi içerisinde oldukça kompleks bir yapıda olmaktadır. Buna rağmen endüstriyel alanda kullanımı oldukça kolay bir yapıya sahiptir. CNC Torna Tezgâhı hem manuel (elle) kontrollü hem de bilgisayar kontrollü olması dolayısıyla tezgâh hareketlerini kontrol etmek olsun parça üretimi olsun basitleştirilmiş yapıya sahiptir. Bu basitleştirilmiş yapı tezgâh kontrolü ve işlemlerin gerçekleştirilmesi aşamalarında hem iş kolaylığı hem de zaman tasarrufu sağlamaktadır. Bu yardımcı olma aşamasında tezgâhların hareketini ve operasyonları gerçekleştirmek adına G ve M kodları tarafından yardım alınmaktadır.

Bu kodlar operasyon uzayında ayna ve taretin hareketlerinin, kontrollerinin gerçekleşmesine ve belirlenmiş torna işlemlerinin yapılmasına fayda sağlamaktadır. Torna Tezgâhlarında G ve M kodlarının oluşması ve oluşturulması ile parça üretimi daha fazla hızlı gerçekleştirilmeye başlanmıştır.

Az zamanda fazla parça üretilmesi hem zamandan tasarruf sağlamaktadır hem de endüstriyel firmalara daha fazla üretim yapılmasını gerçekleştirerek maddi kazanç sağlanmasına olanak sağlar. G ve M kodları üretime yardımcı olacak kişi ve kişilere kullanım kolaylığı sağlamak ile beraber gerçekleştirilecek olan seri üretime yardımcı olmaktadır. G ve M kodları tezgâh bölümü olan kontrol ünitesine işlenerek üretime yardımcı olmaktadır. CAD (Computer Aided Design) denilen tasarım ve CAM (Computer Aided Manufacturing) işlem aşamaları da üretime yardımcı olmak için geliştirilen sistemlerdir.

CNC Torna Tezgâhları genel olarak dört adet kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar kızaklar, fener mili-iş mili-ayna ve punta, taret ve kontrol ünitesi olarak adlandırılmaktadır. Bu kısımların yanı sıra yardımcı kısımlar bulunmaktadır. Bu yardımcı kısımlar konveyör sistemi, yağlama deposu, basınç göstergeleri, sigorta kontrol ünitesi, hidrolik ünitesi gibi olmak üzere bölümler Şekil 3.3 'de ve Şekil 3.4'de yer almaktadır[51].



Şekil 3.3. CNC Torna Tezgâhı ve kısımları



Şekil 3.4. CNC Torna Tezgâhı

CNC Torna Tezgâhları bölümlerden olan kızaklar; torna tezgâhlarının gövde kısmı olarak adlandırılan bölümdür. İçerisinde başta dişli kutularının ve millerin bulunduğu bölüm olan kızaklar tezgâh parçalarının hareket ettirilmesinin sağlandığı bölümdür. Bir diğer bölüm olan fener mili ya da iş mili ki endüstriyel firmalar içerisinde genellikle ayna diye adlandırılan bölüm üretimi gerçekleştirilmek istenen parçaların tutulduğu kısımdır. Aynalar parçaları sadece tutmaz buna ek olarak parçalara dönüş hareketi sağlayarak parçanın hareket ettirilmesini sağlar. Aynalar bu hareket kabiliyetini tezgâh motorunun gücü ile sağlamaktadır. Bunun yanı sıra aynalar ayarlanabilir çenelerden oluşmaktadır. Çenelerin sıkılması ve gevşetilmesi ile üretilcek olan parça boyu ayarlanabilmektedir. Çenelerin üzerinde yer alan diş denilen vida adımları ayarlanarak aynaya çap boyutları ayarlanabilmektedir fakat aynaların da kullanım yerleri belirli çaplara göre yer almaktadır. Aynalar tezgâh içerisinde genellikle parça ile beraber dönüş yapan kısımlardandır fakat bazı operasyonlar için aynalar dönüş yapmayabilir.

Günümüz teknolojinin gelişmesi ile paralel olarak kendinden tahrikli olarak adlandırılan kesici takımlar tezgâh içerisinde yer almaktadır. Kendinden tahrikli takımlar parça üzerinde operasyonel çalışma yaparken ayna ve parça durmaya yakın bir hızda bulunurken kesici takım dönüş yaparak parça üzerinden talaş kaldırılması gerçekleştirilir. Bir diğer bölüm olan taret CNC Torna Tezgâhlarında kesici takımların bulunduğu bölümdür.

Kesme kalemleri, matkap uçları, frezeleme uçları bu kısımda tarete bağlı olarak konumlanmaktadır. Taret genellikle kesici kalemleri ve uçları seçmek için saat yönü ve saat yönü tersinde dönüş yaparken üzerinde bağlı bulunan uçların herhangi bir hızı bulunmamaktadır.

Kendinden tahrikli olarak çalışan kesici uçlar taretten bağımsız olan üzerinde ki motor sayesinde hız kazanmaktadır. CNC Torna Tezgâhlarının en önemli kısımlarından biri de kontrol ünitesi ya da paneli olarak adlandırılan kısımdır. Tezgâh kontrolünün sağlandığı kontrol ünitesi tezgâhın manuel (elle) ya da otomatik olarak kontrolünün sağlanmasına olanak tanır. Kontrol ünitesi parçaların işlenmesi için gerekli olunan G ve M kodlarının eklenip, düzenlenip ve silindiği tezgâh hafızasının kontrol edildiği bölümdür.

### 3.2. Saha Araştırması ve Anket Çalışması

Bu bölümde CNC Torna Tezgâhı seçim ve firmalara yapılacak olan öneri hususunda gerçekleştirilen saha araştırması aktarılmıştır. Yapılan saha araştırması Google Formlar aracılığı ile hazırlanmıştır ve hazırlanan saha araştırması hem online (net ortamında) hem de yazılı ortamda gerçekleştirilme fırsatı yaratmaktadır. Yazılı basımı gerçekleştirilen anket çalışmasında endüstriyel firmalardan randevu aracılığı ile görüşmeler sağlanmaktadır ve endüstriyel firmalara tezgâh seçimi konusunda karar destek sistemi oluşturmak adına tezgâh seçimi ile ilgili ayırt edici kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler birbirlerine alternatif olacak olan tezgâhlar ile ilgili doğru, net ve ayırt edici özellikler endüstriyel firma içerisinde yer alan karar verici kişilerin bakış açısından belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen saha araştırması Ek-1 gerçekleştirilmiş olunan anket aracılığı ile yapılmıştır. Anket sonucunda elde edilen değerlendirme kriterleri aşağıdaki sorular olarak belirlenmiştir.

*CNC Torna Tezgâhı Değerlendirme Kriterleri:*

1. Kullandığınız CNC Torna Tezgâhı İşleme Performansından memnun musunuz?
2. CNC Torna Tezgâhında Tarette Takım Değişmesi Hızından memnun musunuz?
3. Kullandığınız CNC Torna Tezgâhında Maksimum Devir Sayısından memnun musunuz?
4. CNC Torna Tezgâhınızın Motor Gücü Kaç (... Kw) tır? Sizce yeterli midir?  
(Motor Gücü ile ilgili eklemeyi bu bölüme yapabilirsiniz)
5. CNC Torna Tezgâhınızın kullanım Ebatlarından memnun musunuz?
6. CNC Torna Tezgâhınızda Talaş Konveyörü veya Malzeme Besleme Ünitesi kullanıyorsanız tezgâha uyumundan memnun musunuz?
7. CNC Torna Tezgâhınızı Satın Aldığınız Firmanın Eğitim ve Teknik Desteğinden memnun musunuz?
8. CNC Torna Tezgâhınızın titreşimi ve parçaya yüzey pürüzlülüğü bakımından tezgâh kalitesinden memnun musunuz?

9. CNC Torna Tezgâhınızın acil durdurulması veya takım çarpmasının önlenmesinden memnun musunuz?

10. CNC Torna Tezgâhınızın uzun süreli çalışmalar sonucunda ısınmama durumu nasıl?

### **3.2.1. Araştırmanın Gerekliliği**

Gerçekleştirilen araştırma CNC Torna Tezgâhı seçimi konusunda satın alım ya da yatırım yapmak maksadı açısından tezgâh değerlendirme kriterleri oluşturulmuştur. Bu kriterler sonucunda yapılması hedeflenen tezgâh yatırımı ile ilgili saha araştırması ve data toplanması gerekli hale gelmektedir. Endüstriyel sahadan toplanan veriler tezgâh seçimi aşamasında fikir vermektedir.

### **3.2.2. Araştırma Evreni ve Örneklem**

Gerçekleştirilmiş olunan saha araştırması ve anket çalışması İstanbul ili içerisinde Asya ve Avrupa yakalarında yer alan sanayi site içerisinde bulunan firmalarla gerçekleştirilmiştir.

Bu firmalar ile randevu aracılığı temaslara geçilip firma içerisinde istihdam olunan yönetici ve teknik elemanlar ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Anket çalışmasına katkıda bulunan kişilerden tezgâhlar ile ilgili bilgi ve düşünceleri alınmış sonrasında not edilmiştir.

### **3.2.3. Sınırlar**

- Gerçekleştirilen saha araştırması İstanbul sınırları içerisinde yapılmıştır.
- Asya ve Avrupa yakaları içerisinde yer alan sanayi kuruluşlarından faydalanılmıştır.
- Anketin gerçekleştirildiği ve cevaplandırılan kişiler firma çalışanlarıdır.
- Gerçekleştirilen anket CNC Torna Tezgâhları konusunda endüstriyel fayda sağlayan ve pazarda pay sahibi olarak yer alan firmalar içerisinde yaptırılmıştır.

#### **3.2.4. Kabullenmeler**

Yapılan araştırmanın doğruluğu ile ilgili kabullenmeler aşağıdaki gibidir:

- Ankete katılan kurumlar ve kişilerin cevapları tamamen kendi fikirlerini ve öngörülerini temsil etmektedir.
- Gerçekleştirilen ankette katılım sağlayıcıların verdikleri cevaplar tamamen kendi algılarını yansıtmaktadır.
- Gerçekleştirilen anket adet itibarı ile yeterli olmaktadır.
- Anket çalışmasına katılım sağlayıcılar sorulara kendi istekleri doğrultusunda cevap vermektedir.
- Ankette ve araştırma yöntemine bağlı olarak elde edilen verilerin test edilmesi adına belirlenen güvenilirlik doğrultusunda araştırmaya uygun olarak tespit edilmiştir.

#### **3.2.5. Veri Toplama**

Gerçekleştirilmesi hedeflenen saha araştırması aşaması; anketin firmalara dağıtılması ve uygulanması bizzat araştırma tarafından firma bünyesinde, sahada gerçekleştirilmiştir. Anketin uygulanması adına firma çalışanları ile iletişim kurulmuştur. Bu iletişim bazı durumlarda e-posta bazı durumlarda telefon aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Kurulan iletişim sonrasında firma çalışanlarından randevu alınıp firma ziyaretleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen ziyaretlerde firmalar da istihdam edilen mühendisler, ustalar ve teknik elemanlar ile anket soruları cevaplandırılmıştır. Firma çalışanları içerisinde anket sorularına katılım sağlamak istemeyenlere ise ısrar edilmemiştir.

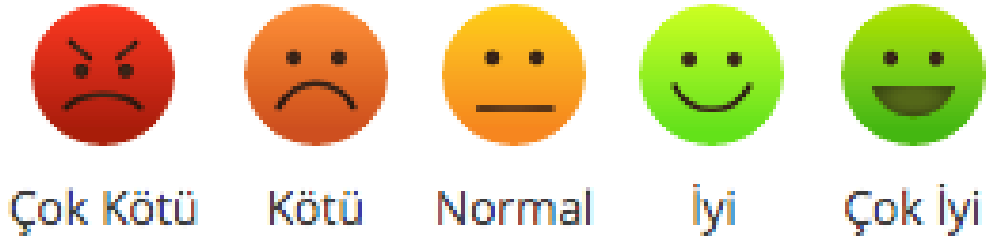
#### **3.2.6. Veri Analizi**

Saha araştırmasının gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Aktarılan veriler matematiksel olarak kaydedilmiştir. Verilerin istatistiksel sonuçlara dönüştürülmesinde Microsoft Office Excel kullanılmıştır.

Saha araştırmasında sorulan sorulara karşılık olarak Linert Ölçeği kullanılmıştır.

Şekil ‘de yer alan Linert Ölçeğinde verilen cevaplara göre:

- 1: Çok kötü
- 2: Kötü
- 3: Normal
- 4: İyi
- 5: Çok iyi olarak yanıtlatılmaktadır.



**Şekil 3.5.** Memnuniyeti belirlemek adına kullanılan Linert Ölçeği

Saha çalışmasında yer alan ve Linert ölçeğinin kullanıldığı sorular Tablo 3.1.’de yer almaktadır. Burada anket kullanıcılarından sorulara karşılık olarak memnuniyeti sorgulanmaktadır. Memnuniyet derecesine bağlı olarak alınan ortalamalar sonucunda CNC Torna Tezgâhları hakkında bilgiler elde edilmektedir.

**Tablo 3.1.** Saha çalışmasında sorulan sorular

| ANKET ÇALIŞMASINDAKİ SORULAR |                                                    |
|------------------------------|----------------------------------------------------|
| Numara                       | Sorular                                            |
| 1                            | Performanstan memnun mu?                           |
| 2                            | Tarette takım değiştirme hızı nedir?               |
| 3                            | Maksimum devir sayısı nedir?                       |
| 4                            | Motor gücü nedir?                                  |
| 5                            | Ebatlar nedir?                                     |
| 6                            | Talaş konveyörü ve malzeme besleme ünitesi var mı? |
| 7                            | Eğitim ve teknik destek veriliyor mu?              |
| 8                            | Titreşim ve yüzey pürüzlülüğü nasıl?               |
| 9                            | Acil durdurma ve takım çarpması önlenbiliyor mu?   |
| 10                           | Isınmama durumu nasıl?                             |

### 3.2.7. Saha Araştırması Sonuçları

İmalatının gerçekleştirilmesi planlanan parçaları işlemek adına CNC Torna Tezgâhı kullanılması hedeflenmektedir.

Bu alanda CNC Torna Tezgâhı seçim kriterlerini belirlemek adına saha araştırması gerçekleştirilmiştir. Anket aracılığı ile gerçekleştirilen saha araştırması randevu alınarak yüz yüze pekiştirilmiştir. Gerçekleştirilen anket sonucunda bir cevap havuzu oluşturulmuştur. Ayrıca anket gerçekleştirilirken işletmelerin çalışanlarının yanıtladığı cevaplar puanlamaya tabii tutulmuştur. Gerçekleştirilen puanlama seçim kriterlerini oluşturmak adına önem derecesi oluşturulmuştur. Önem derecelerinin yüzdesel durumuna göre tezgâh seçim kriterleri oluşturulmuştur. Önem derecesinin yüzdeye yüksek olması bizlere seçim kriterlerini belirlemek adına fikir vermektedir.

Seçim kriterlerinin oluşturulması aksiyomatik tasarım metodolojisinde tasarım parametreleri ve fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) belirlemek adına oldukça önemli bir aşamadır. Toparlanan veriler ışığında tasarım parametreleri ve fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) aksiyomatik tasarıma ait olan matematiksel hiyerarşide kendine yer bulmaktadır.

**Tablo 3.2.** Saha çalışmasında kullanılan tezgâhlar ve alınan cevaplar

| Torna tezgâhı marka ve modelleri | Saha çalışması soruları alınan cevaplar |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----------------------------------|-----------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                  | 1                                       | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Takısa nex-108                   | 5                                       | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 0 | 5 | 4 | 5  |
| Hyundai win L400 lmc             | 5                                       | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5  |
| Hyundai win l300a                | 5                                       | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5  |
| Hyundai win l210la               | 5                                       | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5  |
| Doosan                           | 5                                       | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5  |

| Torna tezgâhı marka ve modelleri | Saha çalışması soruları alınan cevaplar |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----------------------------------|-----------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                  | 1                                       | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Ymc gt-250b                      | 5                                       | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5  |
| Mikrocut goodway                 | 4                                       | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3  |
| Ycm tc-36                        | 5                                       | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5  |
| Jinn fa jsl-20rb                 | 5                                       | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5  |
| Hyundai win l 400 lc             | 5                                       | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5  |
| Hyundai win l 300 lma            | 5                                       | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5  |
| Takisawa taiwan                  | 4                                       | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3  |
| Takisawa                         | 5                                       | 4 | 3 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4  |
| Victor Vturn-20                  | 4                                       | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2  |
| Cyclane                          | 3                                       | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2  |
| Victor                           | 2                                       | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2  |
| Takisawa                         | 4                                       | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3  |

| Torna tezgâhı marka ve modelleri | Saha çalışması soruları alınan cevaplar |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----------------------------------|-----------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                  | 1                                       | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Arıx tms42                       | 5                                       | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5  |
| Arıx tmd 42 cl                   | 5                                       | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5  |
| Jinn fa smart 42 t8              | 5                                       | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5  |

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde gerçekleştirilen saha çalışmasında CNC Torna Tezgâhları ile ilgili endüstriyel üretim firmalarının memnuniyet dereceleri ölçülmüştür. Bu memnuniyet kriterleri tezgâhın yaptığı işler ve kabiliyetlerine derecelendirilmiştir. Ardından üretimi gerçekleştirilmek istenen parçalar için gerekecek ve yatırım tavsiyesi olacak olan CNC Torna Tezgâhı seçimi ile hesaplaması gerçekleştirilecektir.

CNC Torna Tezgâhından beklentiler saha çalışmasını oluşturan sorulara bağlı olarak:

### 4.1. Seçim Kriterini Etkileyen Faktörler

Bu başlık altında CNC tezgahlarının seçim kriterlerini etkileyen faktörler detaylandırılmıştır.

#### 4.1.1. Tezgâh Performansı

Kullanıcılar tezgâh üzerinde iş emirlerine bağlı olarak istenilen işleme operasyonlarının gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğinin belirlendiği kısımdır. Tezgâh performansını belirleyen birçok kriter yer almaktadır fakat sonuca bakıldığında müşteri istekleri doğrultusunda verilen iş emirleri ile tezgâh uyumu sorgulanır. Şekil 4.1’de genel hatları ve bölümleri ile CNC Torna Tezgâhı yer almaktadır.



Şekil 4.1. Endüstride kullanılan CNC Torna Tezgâhı örneği

#### 4.1.2. Taretteki Takım Değiştirme Hızı

CNC Torna Tezgâhlarında operasyonlar gerçekleştirilirken: iş parçası ayna kısmına bağlı olarak istenen devirde dönüş yapar. İş parçası üzerinden talaş kaldırılması için kesici takımlar kullanılır. İş parçası hareket ederken kesici takımlar genellikle hareketsiz olarak bulunur. Hareketsiz kesici takımlar torna tezgâhında taret adı verilen kısımlara bağlanır. Kesici takımlar operasyonların türüne göre taret üzerindeki kendine belirlenmiş olan yerlere bağlanır. Aşağıda yer alan şekil 4.2’de kesici takımın bağlanmadığı boş taret bulunmaktadır.



şekil 4.2. zerinde kesici takım olmayan boş taret

Üretimi istenen iş parçası üzerinde yapılması planlanan operasyon türüne göre (örnek: delik delme, kanal açma, vida çekme, iş parçası çapını küçültme gibi) kesici takımlar taret üzerine yerleştirilir. Yapılacak operasyonlar veya üretilecek iş parçası üzerinde birden fazla kesici takım çalışabilir.

Örneğin üretimi istenen iş parçasında kaba paso denilen parçanın dış yüzeylerinin temizlenmesinin gerçekleştirildiği kaba paso kalemi ilk operasyonu başlatır. Buna ek olarak bütün operasyonların gerçekleştirilmesinin ardından ince paso olarak adlandırılan daha çok parçanın pürüzsüze yakın görünmesinin gerçekleştirildiği ince paso kalemi yer alır.

Sonuç olarak ince paso kalemi, operasyonları gerçekleştiren (matkap uçları, parmak frezeler, vida kalemi...) kesici takımlar ve ince paso kalemi gibi bütün kesici takımlar taret üzerinde yer almaktadır. Üretim esnasında kesici takımlar arasında geçişi sağlarken hem güvenlik prosedürüne uyulması gerekir hem de zaman kayıpları yaşanmamasına dikkat edilir. Taret üzerindeki kesici takımlar işlem esnasında değiştirilirken öncelikle iş parçasından uzak güvenli pozisyonlara getirilmelidir. Eğer getirilmez ise kesici takımlar değişim yaparken takım ile iş parçası arasında ciddi çarpmalara neden olabilir. Bu durum iş parçasının işlenemez hale gelmesine ve hatta ciddi tezgâh arızalarına neden olabilir. Sonuç olarak iş parçasının işlenememesine neden olabilir. Sonuç olarak kesici takımlar arasında ki geçişlerin sağlıklı süreler olması beklenmektedir. Şekil 4.3’de üzerinde kesici takımların bulunduğu taret yer almaktadır.



**Şekil 4.3.** Üzerinde kesici takımların yer aldığı taret

#### 4.1.3. Maksimum Devir Sayısı ve Kesme Hızı

CNC Torna Tezgâhında hareketli olan kısım ayna kısmıdır. Burada hareket olarak adlandırılan durum ise doğrusal hareket değil dairesel harekettir. Dairesel hareket ise bir merkez etrafında dönüş yapmaktır. Tezgâhlarda taret olarak adlandırılan kısım doğrusal hareket yapmaktadır. Bu kısımlara ek olarak gelişen teknoloji de kullanılmak üzere kendinden tahrikli olarak adlandırılan kesici takımlar kullanılmaktadır.

Kendinden tahrikli kesici takımlar taret üzerinde bağlanarak üzerinde yer alan motorlar sayesinde dairesel hareket yapabilmektedir.

Kendinden tahrikli ya da endüstride canlı takım olarak adlandırılan kesici takımlar operasyon esnasında hareketli iken iş parçaları hareketsiz olarak bulunmaktadır.

Devir sayısı iş parçalarını işlemek adına oldukça önem bir kriterdir ve seçim kriterlerini etkilemektedir. Talaşlı imalatı gerçekleştirmek adına tezgâhların sahip olduğu devir sayısı genel anlamda aynaya bağlı olarak bulunun iş parçasının dakikada yaptığı dönüş sayısı anlamına gelmektedir.

Devir sayısı matematiksel olarak Denklem (4.1) 'den faydalanarak:

$$n = \frac{V * 1000}{D * \pi} \quad (4.1)$$

***n***: Devir sayısı (devir/dakika)

***V***: Kesme hızı (m/dakika)

***D***: Takım çapı (mm)

*Kesme hızı*: CNC Torna Tezgâhlarında iş parçasının üzerinde talaş kaldıran kesici takımın dakikada aldığı mesafeye denilmektedir.

Kesme hızı birçok etkene bağlıdır. Fakat kesme hızını belirlerken daha çok kesici takım imalatçı firmalarının test ve deneyler sonucunda öneride bulunduğu kataloglar yardımıyla uygulanır [52].

CNC Torna Tezgâhlarında çoğunlukla silindirik ya da dairesel parçalar operasyona alındığından kaynaklı olarak parça yüzeyinin teknik resim doğrultusunda belirlenen bölgelerde çapı azalmaktadır. İş parçasının çapı azaldığından dolayı aynanın sahip olduğu devir sayısı artmaktadır veya iş parçasına etki eden kesme hızı artmaktadır.

Bu durumlar da tezgâh kontrolünü sağlamak adına operasyonlar öncesi kesme hızı ya da devir sayısı sabitlenmek zorundadır. Eğer sabitlenmez ise operatörün operasyonlar esnasında tezgâh kontrolü zorlaşır ve başta kesici uçlar olmak üzere tezgâh zorlamalara maruz kalır. Böylelikle istenilen performans oluşamaz üzerine üstelik tezgâh ömründe oluşan hasarlar sonucu maddi kayıplar söz konusu olabilmektedir.

Aşağıda yer alan örneklerde yer alan matematiksel parametreler üretilmek istenen parçalar için kullanılan parametrelerdir.

Örnek: Kesme Hızı:  $V = 150$  (m/dakika)- sabit

İş parçası çapı:  $D = 640$  mm ise  $n = ?$  (dev/dakika)

Denklem (4.1) aracılığı ile:

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{640 \cdot \pi} = 74,60387 \text{ (dev/dakika)} \approx 75 \text{ (dev/dakika)}$$

Örnekte anlatılmak istenen: iş parçasının çapı 620 mm olan silindirik parçanın kesme hızı 500 m/min. olarak tablodan alındığı zamanda operasyonların gerçekleştirilebilmesi için tezgâhın gerçekleştirdiği devir sayısı yaklaşık olarak 260 dev/dakika olarak hesaplanabilmektedir.

Buna ek olarak ilerleme hızını hesaplamak için Denklem (4.2) kullanılmaktadır:

$$V = n * a \quad (4.2.)$$

Burada yer alan:

$V$ : Torna tezgâhındaki taretin ilerleme hızı (mm/min.)

$n$ : Aynanın sahip olduğu devir sayısı (dev/min.)

$a$ : İlerleme miktarı (mm/dev)

Örnek: Devir sayısı  $n=75$  dev/dakika

İlerleme miktarı  $a=0.4$  mm/dev ise ilerleme hızı  $V=?$  (mm/dakika)

Denklem (4.2) aracılığı ile:

$$V = n * a$$

$$V = 75 * 0,5 = 0,375 \text{ mm/dakika}$$

Gerçekleştirilen örnekte işlenmesi istenen parçalar için hesaplama yapılmış olup CNC Torna Tezgâhında  $n$  devir sayısı 75 devir/dakika olarak alınırken  $a$  ilerleme miktarı ya da paso miktarı 0,4 mm/devir olarak alınmaktadır.

Burada alınan değerler makinelerde üretim için seçilen malzemelere de bağlı olarak standartlar aracılığı ile belirlenmektedir. Yapılan hesaplama sonucunda CNC Torna Tezgâhının bir bölümü olan taretin sahip olduğu ilerleme hızı 0,375 mm/dakika olarak bulunmuştur.

Kesme hızını etkileyen faktörler:

- Kesici takım malzemesinin cinsi
- İş parçası malzemesinin cinsi
- Yüzey kalitesi
- Tezgâh gücü
- Kesme sıvısının kullanımı
- İş parçası bağlama şekli
- İşleme türü

#### 4.1.4. Motor Gücü

Motor gücü olarak adlandırılan ifade CNC Torna Tezgâhının çalışmasını sağlayacak toplam güç anlamına gelmektedir. Üretimin gerçekleşmesi için önemli olan güç kavramı ise kesici takımların ucunda yer alan uçtaki kesme gücüdür.

Toplam güç CNC Torna Tezgâhlarında yer alan birçok aksama iletilir ve buna ek olarak güç iletiminde kayıplarda oluşmaktadır. Toplam gücün teorikte yaklaşık olarak %80 lik kısmı kesici takım ucuna iletilebilmektedir.

Kesici uçlarda oluşan gücü etkileyen birçok parametre yer almakta olup CNC Torna Tezgâhı satın alınımında seçim kriterlerinden biridir. Kesici takım uçlarında oluşan güç:

- Talaş derinliği (mm): Kesici takımın gerçekleştirilmek istenen operasyonlar için iş parçası üzerinde yapmış olduğu derinliktir.
- Özgül kesme kuvveti (N/mm): İş parçası üzerine etki eden kesme kuvvetine denilmektedir.
- İlerleme hızı (mm/devir): Kesici takımların iş parçası dairesel hareketi esnasında aldığı yola denilmektedir.
- Kesme hızı (m/dakika): Kesici takımların birim zamanda aldığı yola denilmektedir.

#### **4.1.5. Ebatlar**

Endüstriyel firmalar sahip olduğu alana ya da kapasiteye göre yerleşim planı oluşturur. CNC Torna Tezgâhları yardımcı üniteleri ile beraber büyüklük olarak yer kaplayan makinelerdir. Bunun yanı sıra Torna Tezgâhlarının bağlı olduğu elektrik aksamı gibi yardımcı elemanlar da önem arz etmektedir. İş sağlığı ve güvenliği bakımından tezgâh kullanıcılarının da parça alıp işlemesi açısından sahip olması gereken belirli hareket alanı oluşturulmalıdır.

#### **4.1.6. Talaş Konveyörü ve Besleme Ünitesi**

CNC Torna Tezgâhlarında gerçekleştirilen operasyonlar sonucunda iş parçası üzerinde uzaklaştırılan kısım olan talaşlar oluşmaktadır. Biriken talaşların uzaklaştırılmasını sağlayan tezgâh içerinden başlayıp tezgâh dışına uzanan bir bant sistemi yani konveyör sistemi bulunmaktadır. Konveyör sistemi tezgâhların temiz ve bakımlı olmasını sağlayan kısımlardan biridir.

Besleme ünitesi ise üretilmesi istenen stok parçaların yer aldığı kısımdır. İşleme ya da operasyonlar esnasında zamandan tasarruf etmek adına bir sonraki iş parçasının işleme hazır halde bulunduğu tezgâha ait bir bölümdür.

#### **4.1.7. Eğitim ve Teknik Destek**

CNC Torna Tezgâhları kullanımı oldukça pratik fakat bir o kadar da kompleks makinelerdir. Teknolojinin gelişmesi tezgâhlara yenilikler ve farklı farklı özellikler kazandırmaktadır. Tezgâh tedarikçileri de bu yenilikleri müşterilerine ve kullanıcılarına eğitim desteği ile aktarmaktadır.

Bu duruma ek olarak tezgâh kullanıcıları operasyon esnasında bir sorunla karşı karşıya kaldıkları zaman makine tedarikçilerinin teknik destek kısımlarından faydalanmalarını talep etmektedir.

#### **4.1.8. Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğü**

CNC Torna Tezgâhları başta olmak üzere birçok tezgâh türü dairesel hareket prensibi ile çalışmaktadır. Dairesel hareket yapan makineler kendi içerisinde titreşim ya da vibrasyon olarak adlandırılan istenmeyen durumlar oluşturur.

Makine içerisinde oluşan titreşimler makine elemanlarına zarar vermektedir. Oluşabilecek zararlar makine elemanlarının ömrünü azaltmaktadır. Makine elemanları ise torna tezgâhında hareketi sağlayan dişli kutuları, rulmanlar başta olmak üzere sistem elemanlarıdır.

Dairesel hareket esnasında oluşan titreşimler sadece tezgâh içerisinde yer alan makine elemanlarını değil iş parçasının yüzeyini de etkilemektedir. Müşteri talepleri doğrultusunda üretimi gerçekleştirilen iş parçalarının yüzey kalitesi titreşimler nedeniyle bozulabilme durumu oluşabilmektedir.

Endüstride titreşimi engellemek adına CNC Torna Tezgâhlarının bulunduğu konumlara hava yastıkları ya da vibrasyon sönümleyici ek aparatlar konulabilmektedir. Bu ek aparatlar makine üzerinde oluşabilecek titreşimi sönümlerken yüzey pürüzlülüğünün istenilen düzeyde oluşmasını sağlamaktadır.

#### **4.1.9. Acil Durdurma ve Takım Çarpması**

CNC Torna Tezgâhında kontrol sistemi daha çok bilgisayar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar vasıtası ile kullanılan tasarım programları üretim esnasında zamandan tasarruf sağlayabilmektedir.

Kullanılan programında gerçekleştirilen tasarımlar simülasyonlar aracılığı ile kontrol edilmektedir fakat operasyonlar esnasında oluşabilecek hatalarda var olabilir. Herhangi bir hatada tezgâhın kontrolü muhakkak kullanıcı olmak zorundadır. Gerekğinde acil durdurma butonu vasıtası ile tezgâhları olası bir zarar görmeden kurtarma ihtimali bulunmalıdır. CNC Torna Tezgâhları kısımlardan biri olan kontrol paneli üzerinde yer alan kırmızı buton Acil Durdurma-Emergency Stop olarak adlandırılmaktadır.

Tezgâh üzerinde oluşabilecek kaza anında basılarak tezgâhın ve operasyonların durdurulmasını sağlamaktadır. Şekil 4.4’de yer alan kontrol paneli üzerinde sarı bölge üzerinde bulunan kırmızı buton acil durdurma butonudur.



**Şekil 4.4.** CNC Torna Tezgâhı kontrol paneli

Endüstriyel anlamda CNC Torna Tezgâhları maddi anlamda oldukça pahalı makine türlerinden biridir. Yaşanabilecek herhangi bir kaza durumunda takım çarpması da gerçekleşebilecek durumlardan biridir. Kesici takımlar üretim sırasında belirli olunan bir ömre sahiptir. Takım çarpması gibi durumlar olduğu zamanlarda kesici takımlar zarar görmektedir ve fiziksel ömrünü tamamlamaktadır.

Kesici takımların normal ömrü dışında çarpma gibi durumlar sonucu oluşabilecek durumlar sonrasında ömürlerinin sona ermesi endüstriyel kazanç sağlayan kurum veya kuruluşlarda birer gider kalemi oluşturur ve maddi kayıplar oluşur.

#### **4.1.10. Isınmama Durumu**

CNC Torna Tezgâhları çalışması için belirli güç talep eden makine türüdür. Elde ettiği güç sayesinde belirli kısımları hareket halindedir. Gerçekleştirilen hareket sonucunda sürtünmeler oluşmaktadır. Makine elemanları arasında oluşan sürtünmeler makine parçaları arasında ısınmalar oluşturur.

Bu tip ısınma faktörleri makine elemanlarının ömrünü azaltan durumlardandır. Makine elemanlarının doğal ömürlerini azaltan ısınma durumları sistem verimliliğini düşüren en önemli etkenlerdendir.

Isınmayı engelleyecek durumlardan birisi de soğutuculardır. Örneğin iş parçası ile temasından dolayı ısınan kesici takımların soğutulması operasyonlar esnasında kullanılan soğutucu sıvılardır.

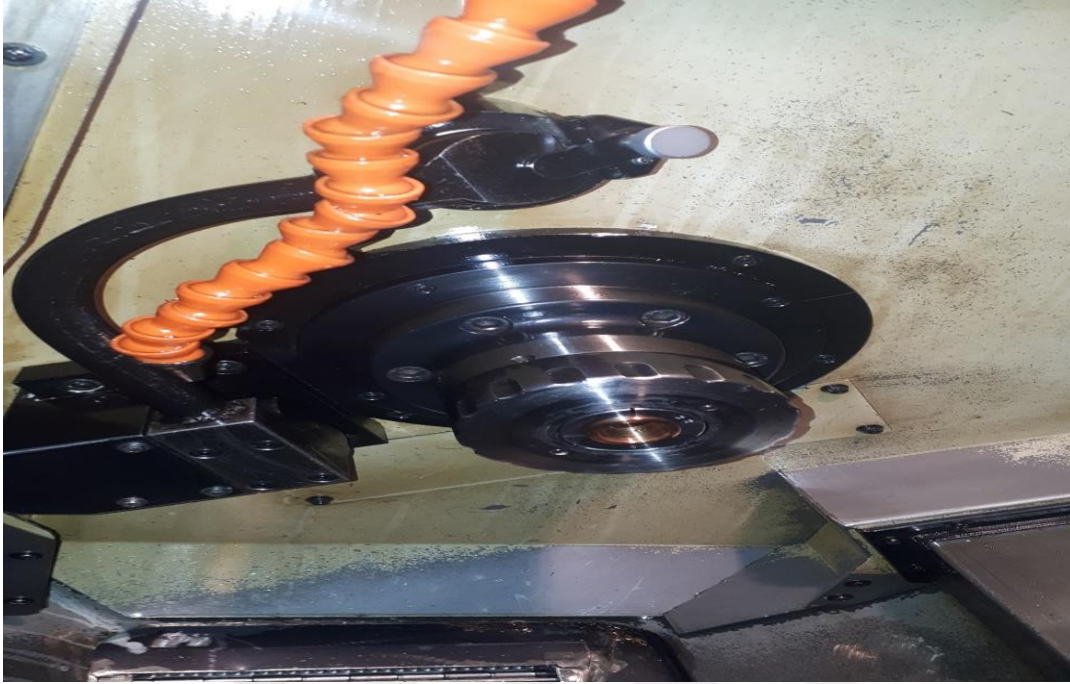
### **4.2. CNC Torna Tezgâhı Temel İşlemleri ve Malzeme Seçimi**

#### **4.2.1. CNC Torna Tezgâhı Temel İşlemleri**

CNC Torna Tezgâhlarında gelişmişlik düzeyine bağlı olarak birçok işlem gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Torna Tezgâhlarında endüstriyel faydayı belirleyen birçok etken yer almaktadır. Bu etkenlerin en önemli parametrelerinden biri kayıpları engellemektir. Kayıplar zaman ya da parça kaybı (hurda parça) gibi birçok etken olabilir. Zaman kayıplarını engellemek adına torna tezgâhlarında parçalar gruplandırılır. Yapılan gruplandırma parça özelliklerine göre belirlenir. Torna Tezgâhlarında silindirik parçalar işlendiği için gruplandırma işlemi genellikle iş parçasının çapına ve boyuna göre yapılmaktadır.

Torna Tezgâhlarında işlenebilirlik ve karar verme açısından iş parçasının boyuna ve çap özelliklerine dikkat edilmelidir. Tezgâh aynasına ve özelliklerine uygun olmayan iş parçalarını işlemek tezgâhlarda kayıplara neden olabilmektedir.

Bu nedenle tezgâh özelliklerinde işleme çapı ve boyu oldukça önemli faktörlerdendir. Şekil 4.5’de iş parçasının bağlı olduğu ayna sistemi ve iş parçası yer almaktadır.



**Şekil 4.5.** İş parçası ve ayna

CNC Torna Tezgâhlarında silindirik stok parçalar gerek çap gerekse boy düşürülmesi ile operasyonlara tabi tutulur. Makine sistemlerinde silindirik parçalar gerek gövde gerek ise sistemi tamamlayan parçalar olarak tanımlanabilmektedir.

Endüstriyel ortamda gövde-kapak sistemi olarak görev alan sistemlerde genellikle delik veya vida dişi denilen operasyonlar gerçekleştirilmektedir.

#### **4.2.2. Malzeme Seçimi**

Müşteri talepleri sonucunda gerçekleştirilecek olan çoklu malzeme üretimi gerçekleştirilirken imalatçılar üretimin daha sağlıklı ve verimli olacak şekilde gruplandırma yönteminden faydalanmaktadır. Gruplandırma yönteminde üretim gerçekleştirilirken yakın çap ve boy ölçülerine sahip parçalar üretimi esnasında takım değiştirme sürelerini azaltmak adına yakın süreçlerde imalata hazırlanır.

CNC Torna Tezgâhlarında işlenmesi istenen bir takım ham madde ve mamuller gruplandırma yöntemi ile zaman tasarrufu sağlanır. Gruplandırma yönteminde torna tezgâhının işleyebileceği silindirik parçalar da iki uzunluk kullanılır.

Kullanılan uzunluklar silindirik parça olduğu için işlenecek parçaların çap ve boy uzunlukları kullanılmaktadır. Buna ek olarak torna tezgahının seçimini gerçekleştirmeden önce parçalara ait çap ve boy uzunlukları da müşteri ihtiyaçlarına göre belirlenen stok parça ölçüleri

Tablo 4.1’de belirtilmektedir.

**Tablo 4.1** Torna tezgâhındaki işlenmesi istenen malzemelerin özellikleri ve stok ölçüleri

| Parça Numarası                    | Özellikleri | Maks. İşleme Çapı (mm) | Maks. İşleme Boyu (mm) |
|-----------------------------------|-------------|------------------------|------------------------|
|                                   |             | Max D                  | Max L                  |
| 1. Parça: Freze Kafası            | AISI 4140   | 300                    | 100                    |
| 2. Parça: Freze Malafası          | AISI 8620   | 105                    | 600                    |
| 3. Parça: Nervür Bara             | AISI 4340   | 45                     | 215                    |
| 4. Parça: Centerlock Delik Kateri | AISI 4140   | 10                     | 105                    |

CNC Torna Tezgâhlarında yukarıdaki tabloda yer alan parçalar imalatçılardan işlenmesi istenen parçalardır. Bu parçalar teknik resimlere uygun olarak torna tezgâhlarında operasyonlara tabii tutulacaktır. İşleme hususları gerçekleşirken dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi de bu dört farklı tipteki parçayı aynı tezgâhın işlenmesi istenmektedir. Stok parçaların boyutları doğrultusunda farklı tipteki parçaların tek bir tezgâh tarafından işlenebilirliği hedeflenmektedir.

Bu aşamada CNC Torna Tezgâhlarında işlenebilirliğe etki eden bir diğer nokta da malzeme cinsidir. AISI (American Iron and Steel Institute: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) demir-çelik malzemeler içerisinde malzemeleri tanımlayan ve sınıflandırılmasını sağlayan bir standartlar bütünüdür.

İmalatı istenen ürünler içerisinde malzemeler olarak AISI 4140, AISI 8620 ve AISI 4340 türünde malzemeler kullanılmaktadır.

#### 4.2.2.1. AISI 4140 Çeliği

Türk Standartlarında TS EN 10250 olarak ve esasında 42CrMo4 diye adlandırılan krom-mobilden çeliği yüksek alaşım elementleri içerir ki bu durum da yüksek mekanik özellikleri de beraberinde getirmektedir.

İçerdiği krom sayesinde yüksek korozyon dayanımı sağlamakta olup malzemenin aşınmalara karşı direncini arttırmaktadır. Krom malzemesi ile korozyon direnci sonucunda parçalar oksitlenmeye karşı dirençli hale gelmektedir. Malzemeler üzerinde oluşabilecek olan oksitlenmeler malzemelerin fiziksel ömürlerini azaltan faktörlerden biridir. Bu tür özelliklerinden dolayı AISI 4140 malzemeleri talaşlı imalat sektöründe hammadde olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Korozyon direncinin yüksek olmasının yanı sıra yüksek mukavemet, tokluk ve süneklik özellikleri kullanım alanını arttırmaktadır. AISI 4140 içerisinde yer alan elementlerin yüzdesel dağılımları da Tablo 4.2 'de yer almaktadır [53].

**Tablo 4.2.** AISI 4140 parçasının yüzdece içeriği (%)

|   | C         | Si        | Mn        | P     | S     | Cr        | Mo        |
|---|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|
| % | 0,35-0,44 | 0,15-0,35 | 0,60-0,90 | 0,040 | 0,040 | 0,80-1,10 | 0,15-0,25 |

AISI 4140 içerdği karbon miktarı sayesinde özellikle talaşlı imalatla oldukça yaygın kullanılmaktadır. Malzemelerin içerisinde yer alan karbon miktarının yüzdesine bağı olarak malzemelerin sertleştirilme durumları orantılı olarak değişebilmektedir. Karbon miktarı ne kadar fazlaysa malzemelerin sertleştirilmesi de artmaktadır.

Diğer bir ifadeyle sertleştirilen malzemeler üzerine gelen yükleri daha kolay ve uzun süreli olarak taşıyabilme durumunda olacaktır.

AISI 4140 malzemeleri kullanım alanı olarak makine parçaları, otomotiv sanayii, inşaat sanayii, takım tezgâhları, uçak parça ve gövde yapıları, krank-biyel mekanizması, dişli ve aks sistemlerinde oldukça tercih edilmektedir. Üretimi gerçekleştirilmek istenen parçaların malzemelerinden biri olan AISI 4140 çeliği Şekil 4.6.'da yer almaktadır [54].



**Şekil 4.6.** AISI 4140 Çeliği

Ayrıca makine çelikleri, türbin motorları, soğuk çekme miller, yaylar, fren diskleri, gemi zincir ve demirleri, turbo jeneratörler, demiryolu tekerler ve milleri gibi alanlarda da kullanılmaktadır. AISI 4140 malzemelerinin mekanik ve teknik özellikleri

Tablo 4.3.'de yer verilmiştir [55].

**Tablo 4.3.** AISI 4140 malzemenin mekanik özellikleri

| Yoğunluk<br>dx1000<br>kg/m <sup>3</sup> | Poisson<br>Oranı | Elastisite<br>Modülü<br>(GPa) | Çekme<br>Mukavemeti<br>(MPa) | Akma<br>Mukavemeti<br>(MPa) | %<br>Uzama<br>Miktarı | %<br>Kesit<br>Daralması | Sertlik<br>(HB) |
|-----------------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| 7,7-8,03                                | 0,27-<br>0,30    | 190-210                       | 655                          | 417,1                       | 25,7                  | 56,9                    | 210             |

#### 4.2.2.2. AISI 8620 Çeliği

Sementasyon (çelik malzemeler içerisine belirli koşullarda karbon ekleme işlemi) ürünü olan ve özel çelikler sınıfında yer alan çelik türüdür. Yüksek mukavemeti malzemenin hem iç yapısında hem de dış kısımlarında belirgin olarak görülmektedir.

Bunun yanı sıra tokluk seviyesinin yüksek olması AISI 8620 malzemelerin kullanım alanını oldukça yaygın hale getirmektedir. AISI 8620 malzemelerinin iç yapısını oluşturan elementlerin yüzde değerleri Tablo 4.4 'de belirtilmektedir.

**Tablo 4.4.** AISI 8620 parçasının yüzde içeriği (%)

|   | C         | Si        | Mn        | P    | S    | Cr        | Mo            |
|---|-----------|-----------|-----------|------|------|-----------|---------------|
| % | 0,18-0,23 | 0,20-0,35 | 0,70-0,90 | 0,04 | 0,04 | 0,40-0,60 | 0,15-<br>0,25 |

Sadece makine parçalarının üretiminde değil hemen hemen çoğu mühendislik makine ve parçalarında yaygın olarak kullanımını sağlar. AISI 8620 çelikleri takım tezgâhları, makine elemanları içerisinde zorlamaya uğrayan parçalarda, makine ve otomobillerde,

dişli ark, pim, mil, piston pimi gibi yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI 8620 eliği Şekil 4.7 ‘de yer almaktadır [56].



**Şekil 4.7.** AISI 8620 eliği

AISI 8620 eliği çekirdek i yapısında karbon miktarından kaynaklı olarak yumuşak ve istenilen toklukta olup dış yüzeye doğru ilerledikçe sert ve aşınmaya dayanıklı malzemelerdendir. Makine sistemlerinde yer alan malzemeler zaman içerisinde bulunduğu yerlere de bağlı olarak üzerine kuvvetler ve basınçlar gelmektedir. Bu basınç ve kuvvetlere bağlı olarak malzemeler üzerinde yıpranmalar ve aşınmalar oluşmaktadır. Bu aşınmalar zaman içerisinde malzeme ömrünü azaltan faktörlerden en önemli etkenlerdir.

Malzemelerin ömrünün azalması sistemlerin sahip olduğu faydayı ve verimi azaltmaktadır. Malzemeler üzerinden gereken faydayı sağlamak adına daha dayanıklı malzemeler tercih edilmektedir. Bu nedenle AISI 8620 eliği aşınmalara dayanabilecek ve darbeli çalışabilecek yerlerde kullanılmaktadır. AISI 8620 malzemelerinin teknik ve mekanik zellikleri Tablo 4.5 ‘de yer almaktadır.

**Tablo 4.5.** AISI 8620 malzemelerin mekanik özellikleri

| Yoğunluk<br>dx1000<br>kg/m <sup>3</sup> | Poison<br>Oranı | Elastisite<br>Modülü<br>(GPa) | Çekme<br>Mukavemeti<br>(MPa) | Akma<br>Mukave-<br>meti<br>(MPa) | %<br>Uzama<br>Miktarı | %<br>Kesit<br>Daral-<br>ması | Sertlik<br>(HB) |
|-----------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------|
| 7,7-8,03                                | 0,27-<br>0,30   | 190-210                       | 536                          | 385                              | 31,3                  | 62,1                         | 149             |

#### 4.2.2.3. AISI 4340 Çeliği

Yüksek sertlik ve aşınma dayanımı özelliklerine sahip olan AISI 4340 nikel ilaveli bir çelik türüdür. AISI 4340 çeliği Şekil 4.8 ‘de gösterilmektedir [57].



**Şekil 4.8.** AISI 4340 Çeliği

AISI 4340 malzemeleri yer aldığı sistemlerde yüzey sertleştirmeye uygun bir malzeme türüdür. Buna ek olarak AISI 4340 malzemeleri bulunduğu malzeme sınıfında yüksek tokluk özelliğine sahip çelik türlerinden biridir.

Malzemelerde tokluk ifadesi üzerine gelebilecek olan kuvvet ve basınçları absorblayabilmek anlamına gelmektedir. Malzemeler de yüksek tokluk kopmama direnci olarak da adlandırabilmektedir.

AISI 4340 çeliğinin iç yapısını oluşturan elementlerin yüzde bileşeni Tablo 4.6.'da belirtilmektedir.

**Tablo 4.6.** AISI 4340 çeliğinin yüzde bileşenleri (%)

|   | C         | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | S     | Mo  |
|---|-----------|------|------|------|------|-------|-----|
| % | 0,38-0,43 | 0,21 | 0,63 | 1,13 | 1,54 | 0,001 | 0,2 |

AISI 4340 çelikleri takım tezgâhlarında, makine parçalarında, uçaklarda, otomotiv ve motor parçalarında, eksantrik ve krank millerinde, kovanlarda, direksiyon parçalarında olmak üzere yaygın kullanım ağına sahiptir. AISI 4340 çeliklerinin mekanik özellikleri Tablo 4.7.'de gösterilmektedir [58].

**Tablo 4.7.** AISI 4340 çeliklerin mekanik özellikleri

| Yoğunluk<br>dx1000<br>kg/m <sup>3</sup> | Poison<br>Oranı | Elastisite<br>Modülü<br>(GPa) | Çekme<br>Mukave-<br>meti<br>(MPa) | Akma<br>Mukave-<br>meti<br>(MPa) | %<br>Uzama | %<br>Kesit<br>Daralması | Sertlik<br>(HB) |
|-----------------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------|-------------------------|-----------------|
| 7,7-8,03                                | 0,27-<br>0,30   | 190-210                       | 744,6                             | 472,3                            | 22         | 49,9                    | 217             |

#### 4.3. CNC Torna Tezgâhı Seçimi Ölçüm Hesaplamaları

CNC Torna tezgâhlarında stok parçalar genellikle işlem görmemiş ya da operasyonlar için yakın boyutlar olacak şekilde testereler aracılığı ile kesim işlemi görülür.

Stok malzemeler Torna Tezgâh aynalarına bağlanarak istenilen teknik resimlere uygun olarak operasyonlara tabi tutulur. İşleme esnasında parçalara ait en büyük çap ve en küçük çaplar ile boylar yani parça ölçüleri Tablo 4.8.'de belirtilmiştir.

**Tablo 4.8.** İşlenmesi istenen iş parçalarının operasyonlar esnasında ki ölçüleri

| Parça numarası                                | Min. çap<br>(mm) | Maks.<br>Çap<br>(mm) | Maks.<br>İşleme Boyu<br>(mm) |
|-----------------------------------------------|------------------|----------------------|------------------------------|
|                                               | Min. D           | Max. D               | Max. L                       |
| 1. Parça: Freze Kafası (AISI 4140)            | 236              | 300                  | 100                          |
| 2. Parça: Freze Malafası (AISI 8620)          | 40               | 105                  | 600                          |
| 3. Parça: Nervür Bara (AISI 4340)             | 20               | 45                   | 215                          |
| 4. Parça: Centerlock Delik Kateri (AISI 4140) | 6                | 10                   | 105                          |

CNC Torna Tezgâhlarında işlenmek istenen parçalar silindirik parçalar olduğundan kaynaklı olarak parçalar işlem esnasında çap ile kesme hızı arasında ters bir orantıya sahiptir.

Bir diğer ifade ile parça yüzeyinden talaş kaldırılırken çap azalır buna bağlı olarak parçanın bağlı olduğu ayna da kesme hızları da artmaktadır.

İşlenmesi istenen parçalara bağlı olarak kesme işleme parametreleri Tablo 4.9' da yer almaktadır.

**Tablo 4.9.** İşlenmek ve üretilmek istenen parçalara ait işleme parametreleri

| PARÇALAR | $V$<br>(m/dakika) |     |      | a<br>(mm) |      |      | F<br>(mm) |      |      | Ks<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|-------------------|-----|------|-----------|------|------|-----------|------|------|----------------------------|
|          | Min               | Max | Ort. | Min       | Max  | Ort. | Min       | Max  | Ort. |                            |
| 1. Parça | 120               | 180 | 150  | 3         | 5    | 4    | 0,4       | 0,7  | 0,5  | 245                        |
| 2. Parça | 120               | 180 | 150  | 1         | 3    | 2    | 0,4       | 0,7  | 0,7  | 245                        |
| 3. Parça | 100               | 150 | 125  | 0,3       | 0,5  | 0,4  | 0,15      | 0,35 | 0,2  | 285                        |
| 4. Parça | 120               | 180 | 150  | 0,25      | 0,35 | 0,3  | 0,2       | 0,5  | 0,3  | 262                        |

İşleme parametreleri:

$V$ : Kesme Hızı (m/dakika)

a: Talaş Derinliği (mm)

f: İlerleme Miktarı (mm)

Ks: Özgül Kesme Kuvveti (N/mm<sup>2</sup>) olarak tanımlanır. Burada yer alan Ks özgül kesme kuvveti malzeme türüne bağlı olarak belirlenmektedir [59].

Üretimi planlanan malzemelerin işlenmesi hususunda parçaların sahip olduğu teknik resimlerine bağlı olarak öncelikle gerçekleştirilecek operasyonların türü belirlenir. Ardından buna bağlı olarak işlemi gerçekleştirebilecek kesici takımlar ile operasyonlar için kalemler seçilir ve tezgâh üzerine bağlanır. Tarette ki konumları belirlenir. Sonrasında işleme parametreleri tespit edilir. CNC Torna Tezgâhı stok olarak adlandırılan parçalar üzerinden talaş kaldırırken daha önceden belirlenmiş olunan kesme hızları, talaş

derinlikleri ve ilerleme gibi parametreler malzeme türlerine de bağılı olarak tezgâh üzerine işlenir.

Tezgâh içerisinde gerçekleştirilecek olunan operasyonlar için tezgâha eklenen bu parametreler malzeme işleme konusunda tasarım aralığını oluşturur. Tasarım aralığı oluşturulurken gerçekleştirilen hesaplamalar Microsoft Excel Programı içerisinde yazılan formüller aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. İşlenmesi istenen malzemeler açısından belirlenen ve hesaplanan tasarım aralığı

Tablo 4.10 ‘da yer almaktadır.

**Tablo 4.10.** İşlenmesi istenen parçalar için tasarım aralığı

| İŞLEME<br>ÇAPI (mm) |     | İŞLEME BOYU<br>(mm) |     | DEVİR SAYISI<br>(devir/dakika) |      | MOTOR GÜCÜ<br>(Kw) |     |
|---------------------|-----|---------------------|-----|--------------------------------|------|--------------------|-----|
| MİN                 | MAX | MİN                 | MAX | MİN                            | MAX  | MİN                | MAX |
| 100                 | 300 | 100                 | 600 | 75                             | 3000 | 0,57               | 7,5 |

Yatırımı gerçekleştirilmesi beklenen CNC Torna Tezgâhlarının yapılan saha çalışması sonucunda belirlenen seçim kriterleri:

1. Üretimi gerçekleştirilecek parçanın işleme/ bağlama çapı (min-max): FR1
2. Üretimi gerçekleştirilecek parçanın işleme/ bağlama boyu (min-max): FR2
3. Tezgâh aynasına bağlanacak parçaya ait devir sayısı (min-max): FR3
4. Tezgâha ait fener mili motor gücü (kW): FR4

Seçimi gerçekleştirilmesi yapılacak CNC Torna Tezgâhları Tablo 4.11 ‘da yer almaktadır:

**Tablo 4.11.** Tezgâh kodları ve adları

| Sıra Numarası | Kod | Tezgâh Adı               |
|---------------|-----|--------------------------|
| 1             | A1  | Mig 26 Maira             |
| 2             | A2  | ZMM Silver               |
| 3             | A3  | Pinocho S-90/250-105     |
| 4             | A4  | Pinocho Smart Turn 5/200 |
| 5             | A5  | Tesah 260/600            |
| 6             | A6  | Wintec TC-15             |
| 7             | A7  | Frontier T2-10           |
| 8             | A8  | Tezsan 260/600           |

Gerçekleştirilen anketler sonucunda seçim kriterlerinden birisi olan işleme çapı torna tezgâhlarında oldukça önemli bir etkidir. CNC Torna Tezgâhlarında işleme çapı olarak adlandırılan üretilmesi ya da işlenmesi istenen parçaların çaplarıdır ve tezgâhlarda X eksenini tanımlamaktadır. Parça çapları torna tezgâhlarının aynaya bağlanması konusunda oldukça önemli bir etken olup fonksiyonel gereksinimlerde (ihtiyaçlarda) hesaplama kriterlerinden biridir. Üretimi gerçekleştirilecek parçanın işleme çapı (FR1) için gerekli hesaplama Tablo 4.12’da yapılmıştır:

**Tablo 4.12.** İşleme çapına göre enformasyon içeriği hesaplanması

| TEZGÂH<br>MARKASI  | İşleme Çapı<br>MİN (mm) | İşleme Çapı<br>MAK (mm) | ASR | ACR | I1        |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-----|-----|-----------|
| A1                 | 10                      | 300                     | 290 | 290 | 0         |
| A2                 | 10                      | 300                     | 290 | 290 | 0         |
| A3                 | 10                      | 300                     | 290 | 290 | 0         |
| A4                 | 1                       | 250                     | 249 | 244 | 0,0292646 |
| A5                 | 8                       | 250                     | 242 | 242 | 0         |
| A6                 | 8                       | 250                     | 242 | 242 | 0         |
| A7                 | 8                       | 250                     | 242 | 242 | 0         |
| A8                 | 8                       | 250                     | 242 | 242 | 0         |
| TASARIM<br>ARALIĞI | 6                       | 300                     | 294 |     |           |

İşleme çapına bağlı olarak seçimi gerçekleştirilmek istenen sekiz tezgâh içerisinde parçaları üretebilecek en uygun tezgâh A4 kodlu tezgâhtır. İşleme çapına göre diğer tezgâhlar da bağlanabilecek ayna çapları parçalar açısından uygun değildir. Bu yüzden I (Enformasyon Aksiyomu) sıfır çıkmıştır. Hesaplama da sıfır çıkmasının anlamı tezgâha parça bağlanamamaktadır.

Yani tezgâh seçimi yapılamaz anlamına gelmektedir. İstenen parça bağlanmasına ya da işlenebilecek parça çapına göre seçimi yapılabilecek olan tezgâh A4 kodlu tezgâh olup bu tezgâh için Enformasyon Aksiyomu  $I1=0,0293$  hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen anket ve saha çalışması sonucunda torna tezgâh seçimi için kullanılacak olan fonksiyonel gereksinimlerden (ihtiyaçlardan) bir diğeri de iş parçalarının sahip olduğu işleme boyudur. İş parçalarının işlenmesi aşamasında iş parçaları aynaya bağlanarak iş parçası ve tezgâh aynası beraberce dönüş yapmaktadır. İş parçaları üzerinden talaş kaldırılırken parçaların bir kısmı ayna içerisinde kalmaktadır bununla beraber geri kalan kısım ise teknik resim boyunca işlenmektedir.

Üretimi gerçekleştirilmek istenen iş parçaları ile ilgili bir kısım ayna içinde kalırken bir kısım parça boyu ve bir kısımda alın tornalama denilen işlemler için ayrılmaktadır. Teknik olarak paslanan ya da boyanan (iş parçalarının ayrımı için) sonuçta farklı bir renkte bulunan iş parçaları operasyonlara başlarken alın tornalaması ya da alın silinmesi işlemine başlamaktadır. Sonuç olarak işleme boyu Torna Tezgâhlarında işlenecek parçaların sahip olduğu boyu tanımlamaktadır ve tezgâh içerisinde Z eksenini belirtmektedir. Üretimi gerçekleştirilecek parçanın işleme boyu (FR2) için gerekli hesaplama

**Tablo 4.13'**de yapılmıştır.

**Tablo 4.13.** İşleme boyuna göre enformasyon içeriği hesaplanması

| TEZGÂH<br>MARKASI | İşleme Boyu |             | ASR | ACR | I2          |
|-------------------|-------------|-------------|-----|-----|-------------|
|                   | MİN<br>(mm) | MAK<br>(mm) |     |     |             |
| A1                | 10          | 500         | 490 | 400 | 0,292781749 |
| A2                | 10          | 700         | 690 | 500 | 0,464668267 |
| A3                | 10          | 700         | 690 | 500 | 0,464668267 |
| A4                | 1           | 900         | 899 | 500 | 0,846393021 |
| A5                | 1           | 650         | 649 | 500 | 0,376290383 |
| A6                | 1           | 650         | 649 | 500 | 0,376290383 |

|                    |     |     |     |     |             |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-------------|
| A7                 | 1   | 650 | 649 | 500 | 0,376290383 |
| A8                 | 1   | 650 | 649 | 500 | 0,376290383 |
| TASARIM<br>ARALIĞI | 100 | 600 | 500 |     |             |

İşleme boyuna bağlı olarak seçimi gerçekleştirilmek istenen sekiz tezgâh içerisinde parçaları üretebilecek en uygun tezgâh A1 kodlu tezgâhtır. AT metodolojisinde hesaplamalar yapılırken enformasyon aksiyomuna ulaşmak istenmektedir.

Enformasyon aksiyomunu hesaplarken işleme parametrelerine bağlı olarak sistem aralığı ve ortak aralıklar belirlenmektedir. A1 tezgâhı açısından hesaplama yapılırken sistem/ortak aralıklar sayısal olarak 1'e ne kadar yakınsa seçim önceliği değer olarak yüksek olmaktadır. Yapılan hesaplamalarda pay ve payda açısından matematiksel anlamda 1'e en yakın tezgâh A1 numaralı tezgâh olup bu tezgâh açısından Enformasyon Aksiyomu  $I_2=0,29278$  olarak hesaplanmıştır.

Aksiyomatik Tasarım metodolojisine bağlı olarak gerçekleştirilen anketler neticesinde fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) şeklinde belirlenen bir diğer faktör ise FR3 devir sayısı faktörüdür. Devir sayısı torna tezgâh seçim kriterlerinde etken bir rol oynamaktadır. Devir sayısı torna tezgâhlarında ayna denilen kısımların dönüş sayısıdır. Üretilmek istenen iş parçası ayna üzerinde bağlanır ve iş parçası ile ayna yekpare bir parça gibi beraberce hareket ederler. Talaşlı imalat türünden bir makine olan CNC Torna Tezgâhlarında iş parçası hareketli iken parça üzerinden talaş kaldırmaya yarayan kesici kalemler ve uçlar sabit olarak tezgâh üzerinde yer almaktadır. Üretimi gerçekleştirilecek parçaya ait devir sayıları (FR3) için gerekli hesaplama Tablo 4.14'de yapılmıştır:

**Tablo 4.14.** Devir sayısına göre enformasyon içeriği hesaplanması

| TEZGÂH<br>MARKASI | Devir Sayısı<br>(dev/dakika) |      | ASR  | ACR  | I3 |
|-------------------|------------------------------|------|------|------|----|
|                   | MİN                          | MAX  |      |      |    |
| A1                | 400                          | 1600 | 1200 | 1200 | 0  |
| A2                | 400                          | 1600 | 1200 | 1200 | 0  |
| A3                | 400                          | 1600 | 1200 | 1200 | 0  |
| A4                | 200                          | 3000 | 2800 | 2800 | 0  |
| A5                | 200                          | 3000 | 2800 | 2800 | 0  |
| A6                | 200                          | 3000 | 2800 | 2800 | 0  |
| A7                | 200                          | 3000 | 2800 | 2800 | 0  |

|                    |     |      |      |      |   |
|--------------------|-----|------|------|------|---|
| A8                 | 200 | 3000 | 2800 | 2800 | 0 |
| TASARIM<br>ARALIĞI | 75  | 3000 | 2925 |      |   |

CNC Torna Tezgâhı için Devir sayısı Denklem (4.3.) formülü aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$n = \frac{V * 1000}{D * \pi} \quad (4.3.)$$

Bu formülde:

$V$ : Kesme Hızı (m/dakika)

$D$ : İş parçası çapı (mm) olarak tanımlanmaktadır. Bu formüllere bağlı olarak seçim kriterlerinden biri olan devir sayısı hesaplanabilir.

Devir sayısı; kesme hızı standartlara bağlı olarak herhangi bir değerde sabit tutulup hesaplanırken teorik anlamda maksimum çap için minimum devir sayısı bulunur. Aksi durumda da teorik olarak minimum çap değeri için maksimum devir sayısı bulunur. İşlenmek istenen parçalar açısından devir sayısına bağlı olarak tasarım aralığı oluşturulurken maksimum çap değerine karşılık olarak minimum devir sayısı hesaplanmaktadır. Yani işlenebilecek parçalar arasında en yüksek çap değeri 300 mm karşılığında minimum devir sayısı yaklaşık olarak 75 devir/dakika hesaplanmaktadır. İşlenebilecek parçalar arasında en küçük çap 6 mm karşılığında ise maksimum devir sayısı yaklaşık olarak 7250 devir/dakika hesaplanmaktadır. Fakat maksimum devir sayısı seçilmek istenen tezgâhlar içerisinde ki tezgâh devirlerinin maksimum değerinden yüksek olduğu için hesaplama aşamasında dikkate alınan maksimum tezgâh devir sayısı (3000 devir/dakika) tasarım aralığını oluşturmaktadır.

FR3 Devir Sayısına bağlı olarak seçim yapılırken AT hesaplamasında sistem/ortak aralık değeri 1 olarak sonuçlanmıştır.

Bu sonuç Enformasyon Aksiyomu I'yı hesaplarırken elde edilen sonuç da matematiksel anlamda 0 olmaktadır. Bu durumda Aksiyomatik Tasarım metodolojisine bağılı olarak CNC Torna Tezgâhı seçimi konusunda devir sayısı etkisiz kalacaktır.

CNC Torna Tezgâhlarında motor gücü hesaplanırken talaş derinliği, ilerleme miktarı, kesme hızı ve malzeme türüne bağılı olarak standartlardan belirlenen özgül kesme kuvvetleri bilinmelidir.

Motor gücü hesabı Denklemler (4.4.)(4.5.) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$P_m = \left( \frac{Q * V * K_s}{6120 * \eta} \right) \quad (4.4.)$$

Denklemdede yer alan:

$P_m$ : Tezgâh motor gücü

$Q$ : Talaşlı imalat için operasyonlar esnasında kaldırılan talaşın alanını belirtmektedir.  $Q$  Talaş alanı Denklem (4.5.)' de yer almaktadır.

$$Q = a * f \quad (4.5.)$$

$a$ : Talaş derinliği (mm)

$f$ : İlerleme miktarı (mm) olarak yer almaktadır.

$V$ : Kesme hızı (m/dakika)

$K_s$ : Malzeme türüne bağılı olarak özgül kesme kuvveti (N/mm<sup>2</sup>)

$\eta$ : Tezgâh verimini belirtmektedir.

$V_e$  genellikle;

$\eta = \%80 = 0,8$  Olarak tanımlanmaktadır.

Sonuç olarak motor gücü hesaplanırken Denklem (4.6.) aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$Pm = \left( \frac{a * f * \mathcal{V} * Ks}{6120 * \eta} \right) \quad (4.6.)$$

CNC Torna Tezgâhları vasıtası ile işlenecek veya üretilmek istenen iş parçalarına ait işleme (operasyon) parametreleri (ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesme hızı ve özgül kesme kuvveti) değerleri ve buna bağlı olarak hesaplanan  $Pm$  motor gücü sonuçları Tablo 4.15’de verilmiştir.

**Tablo 4.15.** İşlenecek parçalara ait işleme parametreleri

| Parça numarası | $a$ | $f$ | $\mathcal{V}$ | Ks  | $Pm$    |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|---------|
| 1. Parça       | 2,5 | 0,4 | 150           | 245 | 7,50612 |
| 2. Parça       | 2   | 0,4 | 150           | 245 | 6,00490 |
| 3. Parça       | 0,4 | 0,2 | 125           | 285 | 0,58210 |
| 4. Parça       | 0,3 | 0,3 | 120           | 262 | 0,57794 |

İşlenmesi istenen parçalara ait işleme ve kesim parametreleri sonucunda yapılan hesaplamalar Tablo 4.15’ de belirtilmiştir. Bu hesaplamalara bağlı olarak belirlenen motor gücü  $\approx 0,57$ -  $\approx 7,50$  Kw aralığı olarak belirlenmektedir ve seçim kriterleri içerisinde tasarım aralığı oluşturulmaktadır. Belirlenen motor gücü aralığı seçim kriterlerinden biri olan FR4 motor gücü (kW) cinsinden

**Tablo 4.16'**da hesaplanmıştır.



**Tablo 4.16.** Fener mili gücüne göre enformasyon içeriği hesaplanması

| TEZGÂH<br>MARKASI | Motor Gücü<br>(kW) |     | ASR | ACR  | I4       |
|-------------------|--------------------|-----|-----|------|----------|
|                   | MİN                | MAX |     |      |          |
| A1                | 0                  | 4   | 4   | 3,43 | 0,221791 |
| A2                | 0                  | 4   | 4   | 3,43 | 0,221791 |

|                       |      |     |      |      |          |
|-----------------------|------|-----|------|------|----------|
| A3                    | 0    | 4   | 4    | 3,43 | 0,221791 |
| A4                    | 0    | 5   | 5    | 4,43 | 0,174621 |
| A5                    | 0    | 5   | 5    | 4,43 | 0,174621 |
| A6                    | 0    | 5   | 5    | 4,43 | 0,174621 |
| A7                    | 0    | 7,5 | 7,5  | 6,93 | 0,114035 |
| A8                    | 0    | 5   | 5    | 4,43 | 0,174621 |
| İŞLEME<br>PARAMETRESİ | 0,57 | 7,5 | 6,93 |      |          |

Gerçekleştirilen hesaplama sonucunda motor gücüne bağlı olarak seçilmesi gereken CNC Torna Tezgâhı A7 tezgâhı olmalıdır.

Üretici firmalardan işlenmesi talep edilen iş parçaları için belirlenmiş olan seçim kriterleri hesaplamalarına bağlı olarak toplam enformasyon içeriği hesaplanmaktadır. Toplam enformasyon içeriği tüm seçim kriterlerine bağlı olarak belirlenmektedir.

Bir diğer ifade ile tüm enformasyon içeriklerinin toplamıdır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ise ayrı ayrı hesaplanmış olan enformasyon içeriklerinde ki gibi toplam enformasyon içeriğinde de en düşük değere sahip olunan CNC Torna Tezgâhı en ideal tezgâh olmaktadır. Toplam enformasyon içeriğini oluşturan değerler tablosu ise Tablo 4.17’ de yer almaktadır.

**Tablo 4.17.** Torna tezgâhlarına ait toplam enformasyon içeriği

| TEZGÂH MARKASI | $\Sigma I$  |       | TEZGÂH SEÇİMİ |
|----------------|-------------|-------|---------------|
| A1             | 0,514573173 | 0,515 | 2             |
| A2             | 0,686459691 | 0,686 | 4             |
| A3             | 0,686459691 | 0,686 | 4             |
| A4             | 1,050279011 | 1,050 | 5             |
| A5             | 0,550911779 | 0,551 | 3             |
| A6             | 0,550911779 | 0,551 | 3             |
| A7             | 0,490325627 | 0,490 | 1             |
| A8             | 0,550911779 | 0,551 | 3             |

Toplam enformasyon içeriğinin hesaplanması sonucunda işlenmek istenen parçaların üretilmesi için tercih edilmesi gereken tezgâh A7 tezgâhıdır. A7 ile belirtilen CNC Torna Tezgâhı Frontier T2-10 tezgâhıdır.

CNC Torna Tezgâhlarında AT metodolojisi içerisinde hesaplamalar yapılırken seçim kriterleri ve bunun sonucunda bulunun matematiksel değerler oldukça önemli olmaktadır. AT metodolojisinin kullanılma nedenlerinden birisi de karar verme konusunda matematiksel anlamlar taşımasıdır. AT metodolojisi; yapılan değerlendirmeler ve hesaplamalar sonucunda tezgâh seçimi ve sonrasında tezgâh yatırımları ile ilgili fikir vermektedir. Tezgâh seçimi yapılırken gerçekleştirilen seçim kriterleri yani belirlenen

fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) yol göstermektedir. Her bir fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) için oluşturulan enformasyon aksiyomları karar verme de toplanmaktadır. Burada önemli olan bir diğer nokta ise fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) (FR1, FR2, FR3, FR4, ..., FRn) Toplam Enformasyon Aksiyomuna (İtoplam,  $\sum I$ ) olan etki miktarı ya da etki oranlarıdır.

Tezgâh seçimi yaparken saha araştırmasının da vermiş olduğu fikir ışığında belirlenmiş olan fonksiyonel gereksinimlerin (ihtiyaçların) toplam enformasyon içeriği içerisindeki etki oranı değiştirilebilen ölçü ve parametrelerde kabul edilebilirlik konusunda fikir vermektedir. Aksiyomatik Tasarım metodolojisiinde değiştirilen bir parametre tezgâh seçiminde önemli değişimlere neden olabilmektedir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen ve tezgâh seçimi konusunda önemli yer edinen etki oranları Tablo 4.18 'de yer almaktadır.

**Tablo 4.18.** CNC Torna tezgâhları için etki oranları (%)

|           | % ETKİ ORANI |             |        |             |
|-----------|--------------|-------------|--------|-------------|
| TEZGAHLAR | FR1(%)       | FR2(%)      | FR3(%) | FR4(%)      |
| 1         | 0            | 56,89798161 | 0      | 43,10201839 |

|   |             |             |   |             |
|---|-------------|-------------|---|-------------|
| 2 | 0           | 67,69053935 | 0 | 32,30946065 |
| 3 | 0           | 67,69053935 | 0 | 32,30946065 |
| 4 | 2,786363831 | 80,58744501 | 0 | 16,62619116 |
| 5 | 0           | 68,3032016  | 0 | 31,6967984  |
| 6 | 0           | 68,3032016  | 0 | 31,6967984  |
| 7 | 0           | 76,74295671 | 0 | 23,25704329 |
| 8 | 0           | 68,3032016  | 0 | 31,6967984  |

Üretimi gerçekleştirilmek istenen iş parçalarının imalatı için gerekli olan CNC Torna Tezgâhları arasında seçilmesi ve yatırımı tavsiye edilen tezgâh 7 numaralı tezgâhtır.

Seçimi ve yatırım tavsiyesi olarak sunulan 7 numaralı tezgâh için etki oranı işleme boyu kriteri  $\approx 76\%$  ve tezgâh motor gücü kriteri  $\approx 23\%$  olmaktadır. Buradan çıkarılacak olan sonuç üretimi talep edilen parçalar açısından işleme boyunun değişmesi veya değiştirilmesi tezgâh seçimini oldukça etkileyecektir ve hatta yatırım için karar verilecek tezgâhları da değiştirecektir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; iş parçası tasarım parametrelerine ve özelliklerine bağlı olarak en uygun CNC Torna Tezgâhının seçiminin gerçekleştirilmesi noktasında çok kriterli karar verme yöntemlerinden AT metodu aracılığı ile karar destek sistemi oluşturulmuştur. Karar destek sistemi oluşturulurken endüstriyel sahada CNC Torna Tezgâhı seçim kriterleri belirlenmiştir yani Fonksiyonel Gereksinimler (İhtiyaçlar) belirlenmiştir. Bunun yanı sıra işlenmesi ve üretilmesi planlanan iş parçalarının işleme parametreleri tayin edilmektedir. Belirlenen seçim kriterleri ve fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) endüstriyel sahada karar verici olarak görev yapan kişilerce belirlenmiştir. Belirlenen seçim kriterleri aracılığı ile enformasyon içeriği oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen enformasyon içerisinde belirleyicilere ya da tezgâh seçimi yapacak olan kişilere yol göstermektedir. Saha çalışmaları ve üretimi gerçekleştirilecek parçalar için tasarım parametreleri oluşturulurken CNC Torna Tezgâhlarının kendine has olan özellikleri de fonksiyonel gereksinimleri (ihtiyaçları) belirlenmektedir. Bu durum sonucunda AT hiyerarşisi bünyesinde yer alan enformasyon içeriğine bağlı olarak sistem aralığı ve CNC Torna Tezgâhları ölçeği arasında yer alan ortak aralıklar belirlenmiştir. AT metodolojisi içerisinde yer alan enformasyon aksiyomunun matematiksel formülleri kullanılarak CNC Torna Tezgâhı seçimi gerçekleştirilmiştir[60].

Müşteri talepleri doğrultusunda üretilmesi ve işlenmesi istenen dört grup parça için belirlenen işleme parametreleri belirlenmiş olup CNC Torna Tezgâhlarında seçimin kriterleri ile beraber fonksiyonel gereksinimler (ihtiyaçlar) belirlenmiştir. Parçayı üretebilecek tezgâh türleri ve sahip olduğu özellikler (işlem uzayı, tezgâh gücü vb. gibi) belirlendikten sonra seçim kriterlerine bağlı olarak ortak aralıklar ve sistem aralıkları belirlenmiştir. Belirlenen alanlar sonucunda AT metodunun matematiksel olarak hesaplamaları devreye girmiş olup dört grup parçayı da üretebilecek kapasiteye sahip olunan tezgâh belirlenmiştir. Sonuç olarak enformasyon aksiyomu ışığında gerçekleştirilen hesaplamalar göstermektedir ki A7 kodlu FRONTIER T2 CNC Torna Tezgâhının seçimine karar verilmiştir. Tezgâh seçimine ek olarak tezgâhın seçimini etkileyen faktörlerde ortaya konulmaktadır. Frontier marka CNC Torna Tezgâhı seçilirken en büyük etken tezgâhın sahip olduğu işleme boyu oldukça önemli bir hal almaktadır. Şayet seçimi gerçekleştirilecek tezgâhlar için işleme boyu farklı olan tezgâhlar seçimi katılırsa karar verilecek tezgâhın markası da değişebilmektedir.

Bir diğerk etki oranına bakılacak olursa da işleme boyundan sonra gelen faktör tezgâhın sahip olduğı motor gücü olacaktır. Eğer ki farklı tezgahlarla AT hesabı yapılacak olursa yine karar verme aşamasında farklılıklar görülecektir.

Endüstriyel saha da gerçekleştirilen anket çalışmasına bağılı olarak seçim kriterleri oluşturulmuştur. Seçim kriterlerine ve üretilmesi gerçekleşecek iş parçasına göre en uygun tezgâh belirlenmiştir. Belirlenen Frontier marka CNC Torna Tezgâhı üretilmesi hedeflenen iş parçasına uygun olarak endüstriyel sahada var olan ve fayda bekleyen firmalara ve KOBİ'lere (Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelere) yatırım tavsiyesi olarak sunulmuştur. Bu sayede Torna Tezgâhı yatırımı yapmayı hedefleyen firmalara karar verme sürecinde kolaylık sağlamak ve tezgâh konusunda doğru karar vermede fayda sağlamakta bununla beraber endüstriyel firmalara katkı sunmaktadır. Bir diğerk açıdan tezgâh seçimi ve tedariki sağlayan firmalar açısından bir öneri niteliğı taşımaktadır. CNC Torna Tezgâhı tedarikçi firmalar ile yatırımcı firmalar arasında iletişimi sağlama özelliğıne sahiptir.

Gerçekleştirilen bu tezde çok kriterli karar verme yöntemleri arasında aksiyomatik tasarım ve kullanım alanlarından genişçe bahsedilmektedir.

Ayrıca günümüz son zamanlarında aksiyomatik tasarım yabancı ve yurt dışı kaynaklarda oldukça önem verilmesine ve araştırılmasına rağmen karar verme sistemleri yeterli ilgiyi görememektedir. Konu ile literatürde oldukça az miktarda bulunan kaynaklara Türkçe kaynak sunulması hedeflenmektedir ve literatüre katkı sağlanabileceğı düşünölmektedir.

Aksiyomatik Tasarım hiyerarşisi kullanılırken enformasyon içeriğı ile ilgili Kullback yaklaşımı kullanılmıştır. Kullanılan Kullback yaklaşımı oldukça basit bir yöntem olup birçok alanda karar verme prosesi ile ilgili kullanılabilir özelliktedir. Yöntem içerisinde yer alan örnekler başka mühendislik problemlerine uyarlanabilir ve uygulanabilir. Araştırma alanı genişletilerek seçim aralığı arttırılabilir.

## KAYNAKÇA

- [1] Suh, N.P., (1990). The Principles of Design, Oxford University Press , New York, USA.
- [2] Cochran, D. S., Reynal, V. A., (1996). Axiomatic Design of Manufacturing Systems, The Lean Aircraft Initiative Report Series, RP96-05-14, Mass. Institute of Technology.
- [3] Suh, N.P., Cochran, D.S., C.L. Paulo, (1998). Manufacturing System Design, Annals of the CIRP, 47, 2 627–639.
- [4] Babic, B. (1999). Axiomatic Design of Flexible Manufacturing Systems, International Journal of Production Research, 37, 5 1159-1173.
- [5] Bröte, S., Cochran, D. S., Mierzejewska, A., Carrus, B., Rupp, S., Smith, J. (1999). Integrating the Production Information System with Manufacturing Cell Design A Lean, Linked Cell Production System Design Implementation, Global Mobility Database, Society of Automotive Engineers Inc., USA. 13.
- [6] Cochran, D. S., Eversheim, W., Kubin, G., Sesterhenn, M. L. (2000). The Application of Axiomatic Design and Lean Management Principles in the Scope of Production System Segmentation, The International Journal of Production Research, 38, 6 1377-1396.
- [7] Chen S.J., Chen., L.C., Lin,L. (2001). Knowledgebased Support for Simulation Analysis of Manufacturing Cells, Computers in Industry, 44 33-49.
- [8] Werneman, A., Kjellberg, A., Adman, M., (2000). Application of Axiomatic Design in Operational Development, Proceedings of ICAD 2000, First International Conference on Axiomatic Design, Cambridge, MA (ICAD 020) 1-8.
- [9] Cha, S. W., Moon, Y. R., (2000). Using Axiomatic Approach for Development of New Concept Design and Manufacturing, Proceedings of ICAD 2000, First International Conference on Axiomatic Design, Cambridge, MA (ICAD 035) 83-86.
- [10] Engelhardt, F. (2000). Improving Products and Systems by Combining Axiomatic Design, Quality Control Tools and Designed Experiments, Proceedings of ICAD 2000, First International Conference on Axiomatic Design, Cambridge, MA, (ICAD037), 93-105.

- [11] Suh, N.P. (2001). *Axiomatic Design: Advances and Applications*, Oxford University Press, New York, USA.
- [12] Suh N P (2010) A Theory of Innovation and Case Study *International Journal of Innovation Management* 14 5 893–913
- [13] Suh N P, Cavique M and Foley J (Eds.) (2021) *Design Engineering and Science* (Springer International Publishing)
- [14] Cotoia, M., Johnson S. (2001). Applying the Axiomatic Approach to Business Process Redesign, *Business Process Management Journal*, 7, 4, 304 – 322.
- [15] Baxter, J. E., Agouridas, V., McKay, A., Pennington, A. (2002). Supply Chain Design: An Application of Axiomatic Design, *Proceedings of ICAD2002, Second International Conference on Axiomatic Design, Cambridge, MA (ICAD012)* 1-7.
- [16] Houshmand, M., Jamshidnezhad, B. (2002). Conceptual Design of Lean Production Systems through an Axiomatic Design, *Proceedings of ICAD 2002, Second International Conference on Axiomatic Design, Cambridge, MA (ICAD 033)* 1-12.
- [17] Hwang, Y. D., Cha, S. W., 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.
- [18] Kim, Y. (2004). A Decomposition Based Approach To Integrate Product Design And Manufacturing System Design, *Proceeding of Third International Conference on Axiomatic Design, Haziran* 11 – 24 Seul.
- [19] Kulak, O., Durmuşoğlu, B., Tüfekçi, I. (2005). A Complete Cellular Manufacturing System Design Methodology Based On Axiomatic Design Principles, *Computers & Industrial Engineering*, 48, 4 765–787.
- [20] Kulak, Osman. (2005). A Decision Support System For Fuzzy Multi-Attribute Selection Of Material Handling Equipments, *Expert Systems with Applications*, 29: 310–319.
- [21] Pappalardo, M., Naddeo, A. (2005). Failure Mode Analysis Using Axiomatic Design And Non-Probabilistic Information, *Journal of Materials Processing Technology* 1423-429.

- [22] Yasar, E. A., Durmuşoğlu, M. B., Dinçmen, M. (2005). Design of a Knowledge Management System Based on Axiomatic Design Principles, 35. International Conference on Computers and Industrial Engineering 2115-2130.
- [23] Kulak, O., Durmuşoğlu, B., Tüfekçi, I. (2005). A Complete Cellular Manufacturing System Design Methodology Based On Axiomatic Design Principles, Computers & Industrial Engineering, 48, 4 765–787.
- [24] Kabadurmuş, Ö., Durmuşoğlu, M. B. (2005). Aksiyomlarla Tasarım İlkelerini Kullanarak Çekme/Kanban Üretim Kontrol Sistemlerinin Tasarımı, V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Ticaret Üniversitesi, İstanbul 313-317.
- [25] Tarcan E. (2005). Evaluation Of Sub-Component Alternatives In A Product Design, Yüksek Lisans Tezi, MÜ İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Thielman, J., Ge, P. (2006).Applying Axiomatic Design Theory to the Evaluation and Optimization of Large-Scale Engineering Systems, Journal of Engineering Design, 17, 1,1-16.
- [27] Birgün, S. (2006). Aksiyomlarla Tasarım Yoluyla Değer Akışı Haritalandırma, Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVI. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 35-40.
- [28] Yılmaz, E. (2006). Aksiyomlarla Tasarım İlkeleri Yardımıyla Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Tasarımı, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11, 1, 9-26.
- [29] Özel, B., Özyörük, B. (2006). Aksiyomatik Tasarım ve Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Tedarikçi Seçimi, VI. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Kültür Üniversitesi 189-203.
- [30] Özyiğit, A. (2006). Axiomatic Design Approach To Control Systems Design, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] Özel, B., Özyörük, B. (2007). Bulanık Aksiyomatik Tasarım Yaklaşımı ile Hiyerarşik Bir Tedarikçi Seçim Modeli, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [32] Gülen, K. G., Birgün S. (2007). Creating Value in Enterprise Information System: KVS Model, State of the Art & Business Management a Handbook for Educators, Consulters and Practitioners, Tectum Verlag 148-176.
- [33] Birgün, S., Kulaklı, A. (2007). Aksiyomlarla Tasarım İlkeleriyle Müşteri Merkezli Bilgi Yönetimi Stratejisinin Oluşturulması, Sıtkı Gözlü 'ye Armağan, Çağlayan Basımevi 245-255.
- [34] Kanbur, F., Birgün, S. (2008). Yeni Kariyere Geçiş Danışmanlığı İçin Kavramsal Bir Model: Fatra, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,7,13, 117-137.
- [35] Çebi, S., Çelik, M., Kahraman, C. (2008). Gemi Sistemleri İçin Entegre Bakım Onarım Yönetimi Gereksiniminin Analizi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi Temmuz, 3, 17-24.
- [36] Urbanic R. J., Maraghy, W.H. (2009). Using Axiomatic Design With The Design Recovery Framework To Provide A Platform For Subsequent Design Modifications, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 1, 165–171.
- [37] Metin Celik, M., Er, I.D. (2009a). Fuzzy Axiomatic Design Extension For Managing Model Selection Paradigm In Decision Science, Expert Systems with Applications 36 6477–6484.
- [38] Metin Celik, M., Cebi, S., Kahraman, C., Er, I.D. (2009b). Application Of Axiomatic Design and TOPSIS Methodologies Under Fuzzy Environment For Proposing Competitive Strategies On Turkish Container Ports In Maritime Transportation Network, Expert Systems with Applications 36 4541–4557.
- [39] Bang, I.C., Heo, G. (2009). An Axiomatic Design Approach In Development Of Nanofluid Coolants, Applied Thermal Engineering 29 75–90.
- [40] Özbek, İ. (2013). Plastik Enjeksiyon Makinesi Seçiminde Aksiyomatik Tasarım Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [41] Yavuz, M. (2010). Makine Ekipman Seçimine Aksiyomatik Tasarım Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [42] GÜNGÖR, F. (2017). Sızdırmaz Conta Malzemesinin Aksiyomatik Tasarım Metoduyla Seçilmesi, El-Cezeri Journal of Science and Engineering, vol.4, pp.1-10,

- [43] Feyzioğlu, A. (2005). Multiobjective Axiomatic And Robust Design Approaches To Mechanical Spring Design, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [44] Ulutürk, İ., Yurdakul, M., İç, Y.T. (2020). Aksiyomatik tasarım yöntemi ile yenilikçi ürün geliştirilmesi, Politeknik Dergisi, 23(4): 987-1002,
- [45] SÖZLÜK.GOV, (2022); Available from: <https://sozluk.gov.tr/>
- [46] Marabaoğlu, U., Korkmaz, M. (2008). Aksiyomatik Tasarım, Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul.
- [47] Bilgin, M. (2012). AISI 6150 Çeliğinin Tornada İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [48] Aşkar R. (Aralık 2010). CNC torna, freze çalışma prensipleri ve takım teknolojisi, Kalıpcılık Öğretmenliği GÜTEF/2006, <http://www.kalipteknolojisi.net.tr>.
- [49] Uluğ, D. (2014). Kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür takımlar için taylor takım ömrü modeli'ndeki “n” üstel değerinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [50] Akkurt, M., (2004). Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları, Birsan Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.
- [51] AKSUMAKINA.WORDPRESS.COM. CNC TORNA TEZGÂHI KISIMLARI, 2022; Available from: <https://aksumakina.wordpress.com/2018/02/01/cnc-torna-tezgahi-kisimlari/>
- [52] METROPOLSOFT.COM DEVİR VE İLERLEME HESABI, 2022; Available from: <https://www.metropolsoft.com/devir-ve-ilerleme-hesabi/>
- [53] Danilevsky, V., 1987. İmalat Mühendisliği. Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 603 s.
- [54] Özkader M.Ç., (2015)-Isıl İşlemleri A1sı 4140 Çeliğinin Abrasiv Aşınmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum
- [55] ESNMETAL.COM 4140 ÇELİĞİ, 2022; Available from: <https://www.esnmetal.com/4140-celigi/>

- [56] Dikmen S.,(2010). A1s1 4140 A1s1 1050 Ve A1s1 8620 elikleri İçin Soğutma Ortamının Aşınma Davranış1 Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı, Sivas
- [57] Güven Ş. Y., elik D. (2018). SAE 4340 eliğinde Isıl İşlem Parametrelerinin Yorulma ve Mikro Yapı Üzerine Etkisi, Teknik Bilimler Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, 55-61
- [58] Saraç E.,(2019). Temperleme Sıcaklıklarının A1s1 4140 ve A1s1 4340 eliklerinin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce
- [59] SLIDEPLAYER,2022; Available from: <https://slideplayer.biz.tr/slide/2313290/>
- [60] Karşıl原因 K., Feyzioğlu A, (2022) Aksiyomatik Tasarım Metodu Yaklaşımı ile Torna Tezgâhı Seçimi. 5. Ulusal Başkent Disiplinler Arası Bilimsel alışmalar Kongresi, 53-65,Ankara,Türkiye

**EKLER**



## EK-1 Saha Çalışmasında Sorulan Sorular

12.07.2021

CNC TORNA TEZGAHLARI SAHA ARAŞTIRMASI

# CNC TORNA TEZGAHLARI SAHA ARAŞTIRMASI

Değerli Katılımcı;

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi saha araştırması amacıyla yapılan anket formu aşağıda yer almaktadır. Bu formda yer alan sorular CNC Torna Tezgahlarının seçim kriterlerine yönelik bilgi edinmek maksadıyla oluşturulmuştur. Formda yer alan bilgiler ve veriler sadece bilimsel araştırmalar da kullanılacaktır. İlginiz ve katılımınız için teşekkür ederim.

Koray KARŞILAYAN

Makine Mühendisi

\* Gerekli

1. soruya gidin1. soruya aiddin

ANKET  
FORMUNA  
GİRİŞ

Aşağıda yer alan sorular anket formu için önem arz etmektedir. İlerleyen bölümler için aşağıdaki soruları eksiksiz cevaplamanız araştırmanın bilimsel doğruluğu için büyük bir katkı sağlayacaktır.

1. İmalatta Kullandığınız CNC Torna Tezgâhınız Var mı? \*

\_\_\_\_\_

2. CNC Torna Tezgahınız İTHAL mi/ YERLİ mi? \*

\_\_\_\_\_

3. CNC Torna Tezgahınızın MARKASI nedir? \*

\_\_\_\_\_

SEÇİM  
KRİTERLERİ

Aşağıda yer alan sorular kullanmış olduğunuz CNC Torna tezgahları için memnuniyetinizi ölçmeyi amaçlamaktadır. Cevaplarınızda:

1: ÇOK KÖTÜ

2: KÖTÜ

3: NORMAL

4: İYİ

5: ÇOK İYİ

Şeklinde memnuniyetinizi ölçmektedir.

[https://docs.google.com/forms/d/1SyrZE\\_m67OX84hDkLh8r-ugL-2irzMhgnsSqQE4zpqY/edit](https://docs.google.com/forms/d/1SyrZE_m67OX84hDkLh8r-ugL-2irzMhgnsSqQE4zpqY/edit)

1/4

4. Kullandığınız CNC Torna Tezgâhı İşleme Performansından memnun musunuz?

*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

|                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

5. CNC Torna Tezgâhında Tarette Takım Değişmesi Hızından memnun musunuz?

*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

|                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

6. Kullandığınız CNC Torna Tezgâhında Maksimum Devir Sayısından memnun musunuz?

*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

|                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

7. CNC Torna Tezgâhınızın Motor Gücü Kaç (... Kw) tır? Sizce yeterli midir?  
(Motor Gücü ile ilgili eklemeyi bu bölüme yapabilirsiniz)

*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

|                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

8. CNC Torna Tezgâhınızın kullanım Ebatlarından memnun musunuz?

*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

|                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

9. CNC Torna Tezgâhınızda Talaş Konveyörü veya Malzeme Besleme Ünitesi kullanıyorsanız tezgâha uyumundan memnun musunuz?

*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

|                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

10. CNC Torna Tezgâhınızı Satın Aldığınız Firmanın Eğitim ve Teknik Desteğinden memnun musunuz?

*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

|                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

11. CNC Torna Tezgâhınızın titreşimi ve parçaya yüzey pürüzlülüğü bakımından tezgâh kalitesinden memnun musunuz?

*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

|                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

12. CNC Torna Tezgâhınızın acil durdurulması veya takım çarpmasının önlenmesinden memnun musunuz?

*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

13. CNC Torna Tezgâhınızın uzun süreli çalışmalar sonucunda ısınmama durumu nasıl?

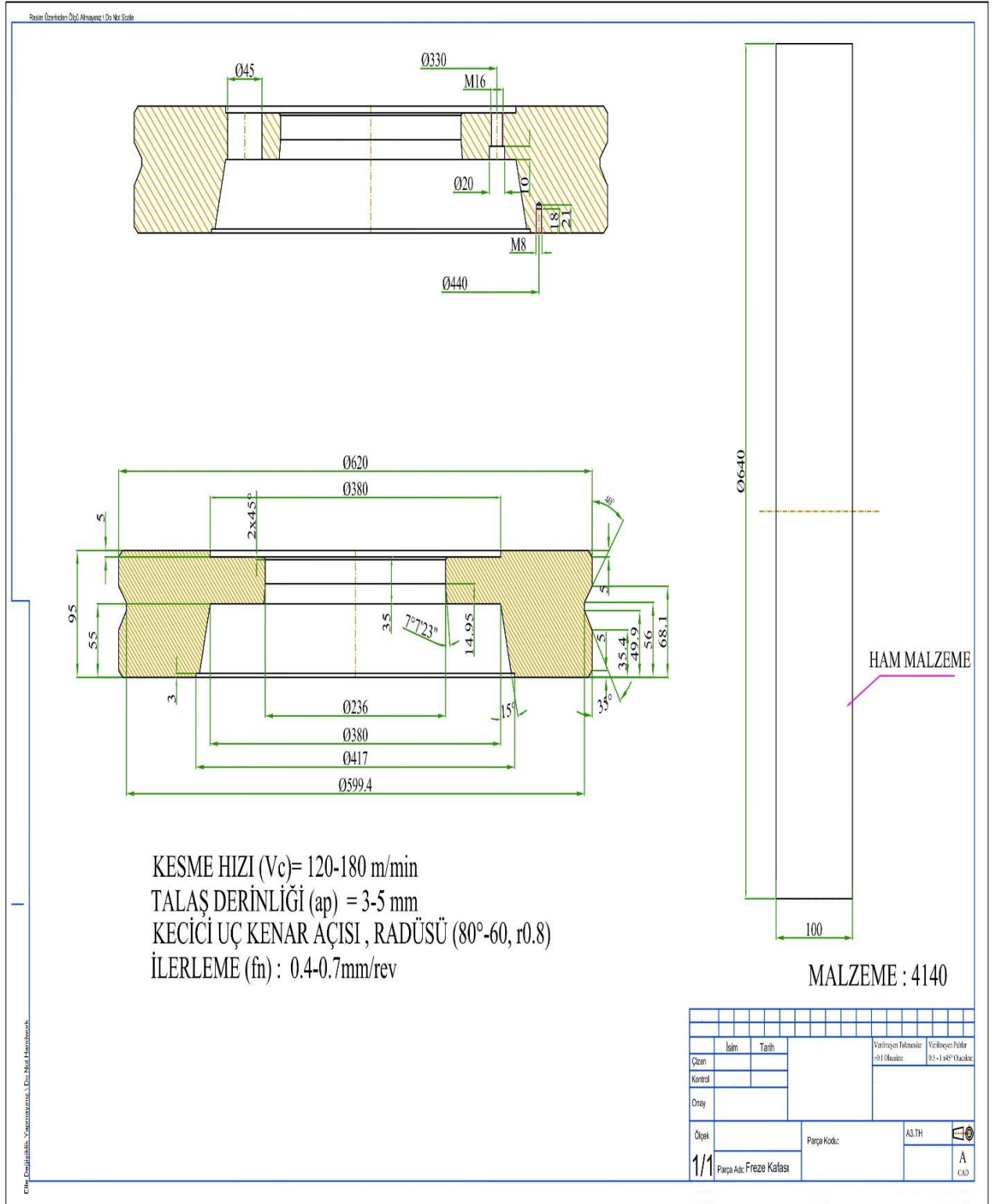
*Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.*

| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

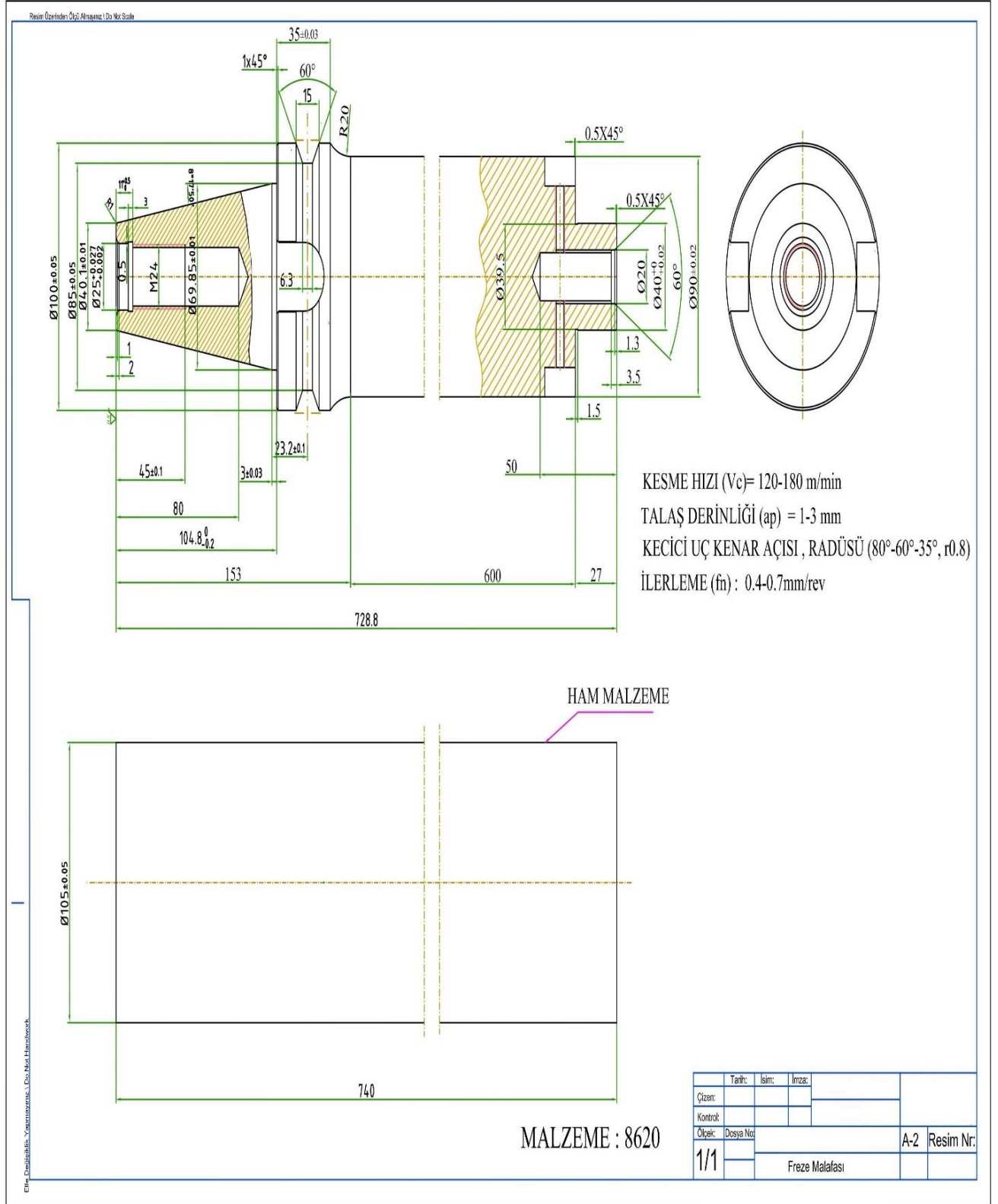
Bu içerik Google tarafından oluşturulmamış veya onaylanmamıştır.

Google Formlar

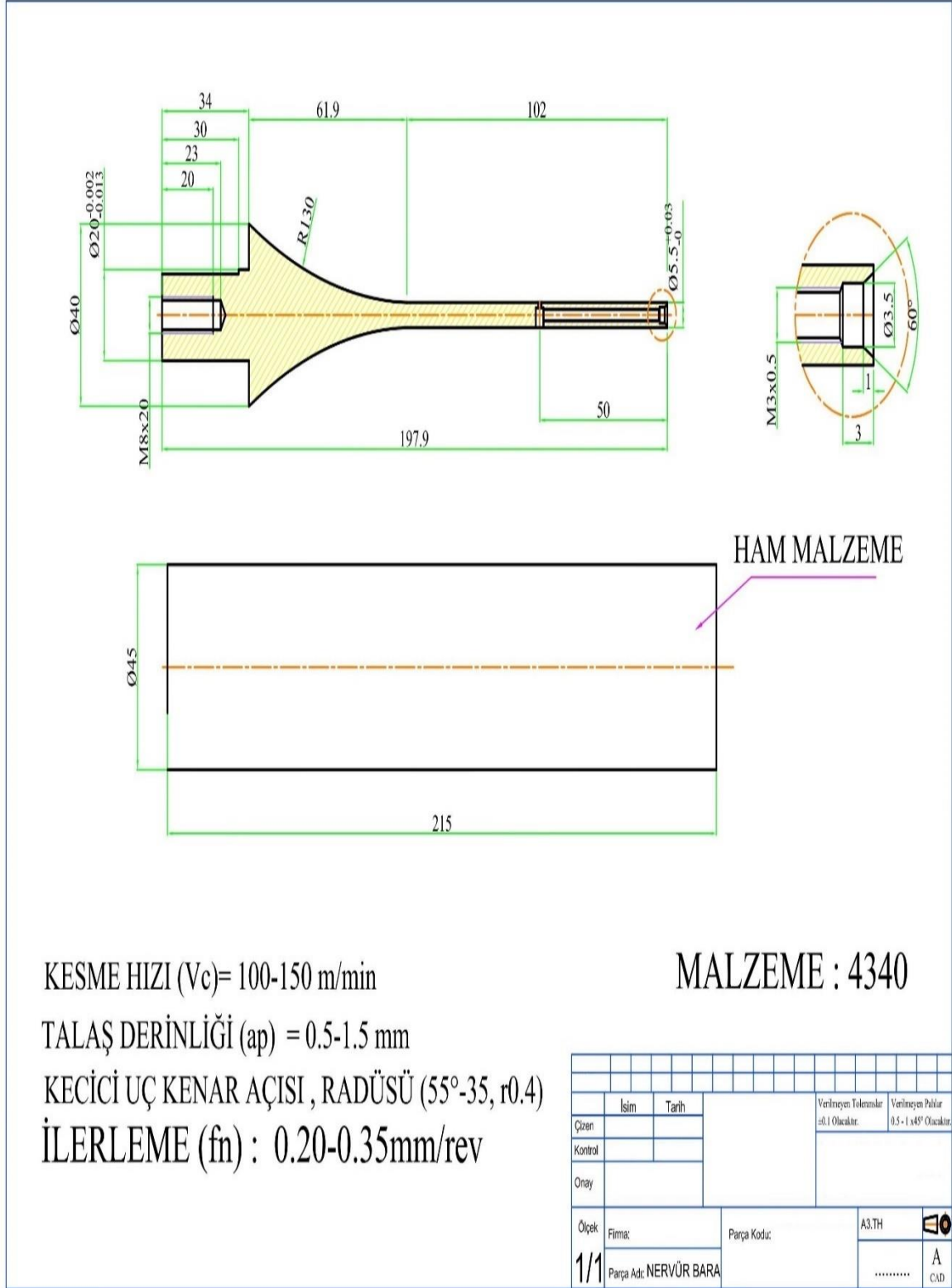
## EK-2 Parça 1 - Freze Kafası



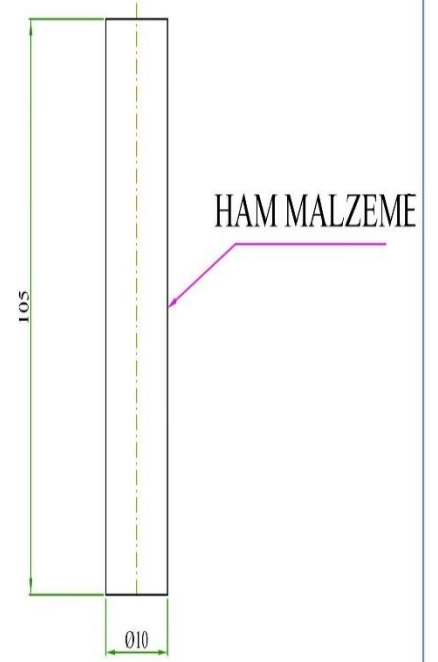
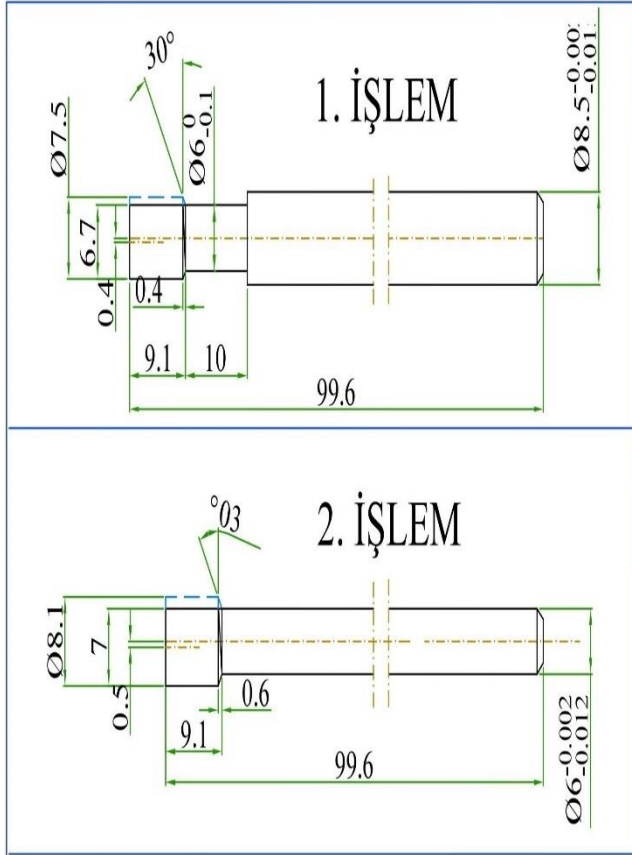
## EK-3 Parça 2 - Freze Malafası



## EK-4 Parça 3 - Nervür Bara



## EK-5 Parça 4 - Centerlock Delik Kateri



KESME HIZI ( $V_c$ )= 120-180 m/min

TALAŞ DERİNLİĞİ ( $a_p$ ) = 0.25-0.75 mm

KECİCİ UÇ KENAR AÇISI, RADÜSÜ ( $55^\circ$ - $35^\circ$ , r0.4)

İLERLEME ( $f_n$ ) : 0.2-0.05mm/rev

MALZEME : 4140

|          |        |       |       |                         |          |
|----------|--------|-------|-------|-------------------------|----------|
|          | Tarih: | İsim: | İmza: |                         |          |
| Çizen:   |        |       |       |                         |          |
| Kontrol: |        |       |       |                         |          |
| Ölçek:   |        |       |       |                         |          |
| 2/1      |        |       |       | A-3                     | Resim Nı |
|          |        |       |       | Centerlock Delik Kateri |          |

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Koray KARŞILAYAN

### EĞİTİM BİLGİLERİ

**Yüksek Lisans:** Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü (2019-2022)

**Lisans:** Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü (2015-2019)

### Yayınlar ve Bildirimler

Karşılayan K., Feyzioğlu A, (2022) Aksiyomatik Tasarım Metodu Yaklaşımı ile Torna Tezgâhı Seçimi. 5. Ulusal Başkent Disiplinler Arası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, Türkiye, 21-22 Haziran, 2022, 53-65