

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKSİYOMLARLA TASARIM YAKLAŞIMI İLE ROBOT KOLU SEÇİMİ İÇİN
BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Çağatay BAHADIR

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKSİYOMLARLA TASARIM YAKLAŞIMI İLE ROBOT KOLU SEÇİMİ İÇİN
BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Çağatay BAHADIR
(507091148)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507091148 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Çağatay BAHADIR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“AKSİYOMLARLA TASARIM YAKLAŞIMI İLE ROBOT KOLU SEÇİMİ İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Demet BAYRAKTAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **23 Ocak 2012**

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez danışmanlığımı üstlenerek çalışma konusunu belirlememde yardımcı olan, çalışmalarım süresince hem görüş hem de önerileriyle beni yönlendirerek desteğini esirgemeyen, Değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU'na en içten saygılarımla teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın hazırlık aşamasında benim yanımda olduğu ve değerli bilgilerini benden esirgemeyerek bana verdiği destek için Değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Demet BAYRAKTAR'a en içten saygılarımla teşekkür ederim.

Çalışmamı destekleyen ve işletmelerinde bana uygulama yapma şansı tanıyan robot firması çalışanlarına ve özellikle Sibel MUSAOĞLU'na en içten saygılarımla teşekkür ederim.

Çalışmamın tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen, görüşlerini paylaşan ve motive eden Çağrı BAHADIR ve Dr. Senem KURŞUN BAHADIR'a, değerli arkadaşım Araş. Gör. Çağatay İRİS, Araş. Gör. Engin SANCARCI ve Araş. Gör. Gül TEMUR'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında her zaman yanımda olan ve benimle çok değerli arkadaşlığını paylaşan arkadaşlarım, Çağatay Sabri KÖKSAL, Samet SAİP, Recep DEMİR, Altuğ ÖZDEMİR, Mümin YILMAZ ve burada ismini sayamadığım nice değerli arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Son olarak benden manevi desteklerini hiç esirgemeyen, her an yanımda olduğunu ve beni her konuda desteklediğini bildiğim sevgili babam Prof. Dr. Ali BAHADIR ve annem Saire BAHADIR'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Yoğun emek ve özveri ile hazırladığım “Aksiyomlarla Tasarım Yaklaşımı ile Robot Seçimi için Karar Destek Sistemi” adlı tez çalışmamın ülkeme maddi ve manevi açıdan katma değer sağlaması dileklerle...

Aralık 2011

Mehmet Çağatay BAHADIR
Araştırma Görevlisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. YAYIN TARAMASI, AMAÇ VE KAPSAM	5
2.1 Robot Seçimi Yayın Taraması	5
2.2 Aksiyomlarla Tasarım Metodu Yayın Taraması.....	9
2.2.1 Ürün-kavram seçimi.....	13
2.2.2 Üretim sistemi/teknolojisi seçimi.....	15
2.2.3 Tedarikçi seçimi	16
2.2.4 Diğer çalışmalar	16
2.3 Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı	19
3. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR.....	21
3.1 Endüstriyel Robot Tanımı	21
3.2 Endüstriyel Robotların Kullanım Sebepleri	22
3.3 Endüstriyel Robotların Yapısı.....	22
3.3.1 Manipülatör	24
3.3.2 Uç elemanlar	26
3.3.3 Güç birimleri	27
3.3.4 Denetleyici	27
3.4 Robot Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar	28
3.5 Robotların Sınıflandırılması.....	33
3.5.1 Tahrik sistemine göre sınıflandırma	33
3.5.2 Hareket kontrol metoduna göre sınıflandırma	34
3.5.2.1 Servosuz robotlar	34
3.5.2.2 Servolu robotlar.....	35
3.5.3 Çalışma – zarf geometrisine göre sınıflandırma	37
3.5.3.1 Kartezyen konfigürasyon	37
3.5.3.2 Silindirik konfigürasyon	38
3.5.3.3 Küresel (polar) konfigürasyon	39
3.5.3.4 Mafsallı (eklemlı) kol konfigürasyonu	40
3.6 Endüstriyel Robotların Programlanması	41
3.6.1 Gezdirek programlama.....	42
3.6.2 Yol göstererek programlama.....	42
3.6.3 Programlama dilleri ile programlama	43
4. AKSİYOMLARLA TASARIM	45
4.1 Aksiyomlarla Tasarımın Tanımı	45
4.2 Aksiyomlarla Tasarımın Amacı	47

4.3	Bilgi Sahaları ve Haritalandırma.....	47
4.4	Tasarım Hiyerarşisi	48
4.5	Tasarım Aksiyomları.....	49
4.5.1	Bağımsızlık aksiyomu	49
4.5.2	Bilgi aksiyomu	51
4.5.2.1	Bilgi içeriği hesaplanması	52
4.5.2.2	Bilgi içeriğinin hesaplanmasında değişik bir yaklaşım.....	54
4.5.3	Bağımsızlık ve bilgi aksiyomları arasındaki ilişki	58
5.	KARAR DESTEK SİSTEMLERİ	61
5.1	Karar Destek Sisteminin Tanımı	61
5.2	Karar Destek Sisteminin Bileşenleri	62
5.3	Karar Destek Sisteminin Yararları	63
6.	AKSİYOMLARLA TASARIM YÖNTEMİ İLE ROBOT SEÇİMİ.....	65
6.1	Aksiyomlarla Tasarım Yönteminin Seçim Nedenleri	65
6.2	Robot Seçim Ölçütlerinin Tanımlanması	67
6.2.1	Filtreleme ölçütleri	68
6.2.2	Sayısal ölçütler	70
6.3	Aksiyomlarla Tasarımın Uygulama Metodolojisi.....	71
7.	PİLOT UYGULAMA	75
8.	GIDA SEKTÖRÜ UYGULAMASI	85
9.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
	KAYNAKLAR.....	99
	EKLER.....	105
	ÖZGEÇMİŞ	113

KISALTMALAR

AAS	: Analitik Ağ Süreci
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
AD	: Aksiyomlarla Tasarım (Axiomatic Design)
DP	: Tasarım Parametresi (Design Parameter)
FR	: Fonksiyonel Gereksinim (Functional Requirement)
FAD:	: Bulanık Aksiyomlarla Tasarım (Fuzzy Axiomatic Design)
KDS	: Karar Destek Sistemi
MADM	: Çok Ölçütlü Karar Verme (Multi Attribute Decision Making)
QFD	: Kalite Fonksiyonu Yayılımı (Quality Function Deployment)
TOPSIS	: Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution
VZA	: Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis)

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Robot seçimi literatür taraması.....	6
Çizelge 2.2 : Aksiyomlarla tasarım yayın taraması.	9
Çizelge 3.1 : Robotların mekanik yapıları	26
Çizelge 7.1 : A, B, C robot kollarının fonksiyonel özellikleri ve tasarım gereksinimleri	77
Çizelge 7.2 : A Robotunun kriter bazında bilgi içerikleri	83
Çizelge 7.3 : B Robotunun kriter bazında bilgi içerikleri.....	83
Çizelge 7.4 : B Robotunun kriter bazında bilgi içerikleri.....	83
Çizelge 7.5 : A,B,C robot kollarına ait bilgi içeriklerinin karşılaştırılması.....	84
Çizelge 8.1 : Robot kolu tasarım özellikleri ve tasarım aralığı	88
Çizelge 8.2 : Filtrelemeden geçen robot kollarının kriter bazında bilgi içerikleri....	92
Çizelge A.1 : Değerlendirilen robot kolu alternatifleri.....	107

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Robotun bölümleri arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram	24
Şekil 3.2 : Robot kolunun bileşenleri	24
Şekil 3.3 : Doğrusal ve döner eklem tipleri	25
Şekil 3.4 : Üç temel hiyerarşik kontrol seviyesi	28
Şekil 3.5 : Farklı konfigürasyonlara sahip robotların çalışma zarfları	29
Şekil 3.6 : ABB firmasına ait bir robotun çalışma zarfı	30
Şekil 3.7 : Doğruluk ve tekrarlanabilirliğin farkı	31
Şekil 3.8 : Doğruluk ve tekrarlanabilirlik	32
Şekil 3.9 : Bir servosuz motorun yapısı	35
Şekil 3.10 : Bir servo motorun yapısı	36
Şekil 3.11 : Kartezyen konfigürasyon yapısına sahip robot kolunun çalışma zarfı... 38	
Şekil 3.12 : Silindirik konfigürasyon yapısına sahip robot kolunun çalışma zarfı.... 39	
Şekil 3.13 : Küresel konfigürasyon yapısına sahip robot kolunun çalışma zarfı..... 39	
Şekil 3.14 : Mafsal konfigürasyonlu robot kolunun çalışma zarfı..... 41	
Şekil 3.15 : Mafsal konfigürasyonlu robot kolunun eksen ve çalışma zarfı..... 41	
Şekil 4.1 : “Neyi başarmak istiyoruz?” ile “Nasıl gerçekleştirebiliriz?” arasındaki haritalandırma ile tasarımın tanımı	46
Şekil 4.2 : Aksiyomlarla Tasarım yönteminde bilgi sahaları..... 48	
Şekil 4.3 : Zikzak ile ayrıştırma	49
Şekil 4.4 : Musluk tasarımları (a) klasik musluk, (b) tek elli musluk..... 51	
Şekil 4.5 : Tasarım aralığı, sistem aralığı ve ortak alan kavramları..... 54	
Şekil 4.6 : Bağımsızlık aksiyomu ile bilgi aksiyomu arasındaki ilişki	59
Şekil 5.1 : Bir KDS’nin bileşenleri	63
Şekil 6.1 : Aksiyomlarla Tasarım yöntemi ile robot kolu seçim metodolojisi	73
Şekil 7.1 : Scara robot tipi ve eksenleri	76
Şekil 7.2 : A sistemi eksen 1 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları . 78	
Şekil 7.3 : B sistemi eksen 1 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.. 78	
Şekil 7.4 : C sistemi eksen 1 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.. 79	
Şekil 7.5 : A sistemi eksen 3 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları . 79	
Şekil 7.6 : B sistemi eksen 3 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.. 80	
Şekil 7.7 : C sistemi eksen 3 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.. 80	
Şekil 7.8 : A , B ve C sistemi tekrarlanabilirliği için sistem, tasarım ve ortak aralıkları	81
Şekil 7.9 : A sistemi maliyeti için sistem, tasarım ve ortak aralıkları..... 81	
Şekil 7.10 : B sistemi maliyeti için sistem, tasarım ve ortak aralıkları..... 82	
Şekil 7.11 : C sistemi maliyeti için sistem, tasarım ve ortak aralıkları..... 82	
Şekil 8.1 : Gıda sektöründe “alıp yerleştirme” uygulaması örneği..... 86	
Şekil 8.2 : Tasarım özellikleri ve tasarım aralıklarının girildiği KDS arayüzü	88
Şekil 8.3 : KDS veritabanından bir kesit..... 89	
Şekil 8.4 : Robot kolu alternatiflerinin bilgi içeriği–MATLAB programı arayüzü 90	
Şekil 8.5 : Kriter bazında bilgi içeriği – MATLAB programı ara yüzü örneği	90

Şekil 8.6	:	R8 robot kolu	93
------------------	----------	---------------------	----

AKSİYOMLARLA YAKLAŞIM İLE ROBOT SEÇİMİ İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ

ÖZET

Küreselleşmenin etkisi ile birlikte yoğun rekabet ortamı, işletmelerin yönetim anlayışlarının değişmesine neden olarak, üretim faktörlerini daha etkin kullanmak amacıyla stratejiler belirlemeye ve uygulamaya zorlamaktadır. İşletmeler, sürdürülebilirliklerinin sağlanması amacıyla fiyat, kalite, verimlilik, hızlı yanıt, çevre yönetimi, ürün çeşitliliği ve esneklik üzerine stratejiler üretmeye ve bu stratejileri rekabet gücü olarak kullanmaya başlamışlardır. Bunun yanında; teknolojiye meydana gelen bu hızlı gelişimin etkisi ile; teknoloji kavramı, insan yaşamının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş ve işletmelerin üretim faaliyetlerinde bu stratejilerin uygulanması için yer edinmiştir. Buna paralel olarak da, üretimde insan faktörünün yerini robot sistemleri almaya başlamıştır.

Bütünleşik birçok alt sistemden oluşan robot sistemleri karmaşık yapıya sahiptir. Bu yapıları nedeniyle robot sistemlerinin tasarımı yapılırken, uygun alt sistemlerin tasarımı önemli ve zor bir süreçtir. Robot sistemleri tasarım sürecinin temel aşamalarından biri olan üretim sistemine uygun robot kolu seçimi işlemi, sistemin işlevselliği ve amacına ulaşması bakımından önemli bir konudur.

Bu çalışmada, üretim sistemine uygun robot kolu seçimi amacıyla çok ölçütlü karar verme sürecinde kullanılan ve bilimsel bir metod olan Aksiyomlarla Tasarımdan yararlanılarak “endüstriyel robot kolu seçimi metodolojisi” önerilmiştir. Çalışmada literatürden yararlanılarak; birbirinden bağımsız olduğu ve Aksiyomlarla Tasarımın bağımsızlık aksiyomunu gerçekleştirdiği varsayılan endüstriyel robot kolu seçimi ölçütleri saptanmıştır. Belirlenen ölçütler, robot kolundan beklenen özellikler ve kısıtlar dikkate alınarak filtreleme ölçütleri ve sayısal ölçütler olarak gruplandırılıp, iki ana aşamadan oluşan metodoloji yardımıyla seçim işlemi gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada, robot kolu alternatifleri filtreleme ölçütlerinden yararlanılarak süzülmesi; ikinci aşamada ise elemeyen geçen her bir robot kolu alternatifine ait bilgi içeriği bilgi aksiyomu prensibinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Sayısal ölçütler, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen ölçütler olarak sınıflandırılmış; tasarım ve sistem aralıkları kavramları bu ölçüt tiplerine göre tekrar tanımlanarak bilgi içeriği hesaplanmasında bu kavramlardan yararlanılmıştır. Optimum robot seçimi “en iyi tasarım minimum bilgi içeriğine sahiptir” prensibine diğer bir deyişle bilgi aksiyomuna dayalı olarak yapılmıştır. Bununla birlikte; bir tür karar destek sistemi, yazılımla bütünleştirilerek geliştirilmiştir. Bu karar destek sistemi, gıda sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın paketleme süreci için endüstriyel robot kolu seçimine uygulanmıştır.

A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ROBOT SELECTION BASED ON AXIOMATIC DESIGN PRINCIPLES

SUMMARY

The intense competitive environment with impact of globalization, which causes changes in business management concepts, enforces firms to identify and apply strategies in an effort to use production factors more efficiently. In order to provide maintainability, firms start to settle strategies based on price, quality, productivity, rapid response, environmental management, product diversity and flexibility and besides, they begin to use these strategies as competitive weapons as well. Moreover, with the effect of rapid development in technology, technology concept has become an indispensable part of the human life and it takes place in production activities of enterprises. Correspondingly, robotic systems start to take a part in production area instead of the humans or with the humans. Robotic systems are preferred because of very different talents.

Robotic systems consisting of several integrated sub-systems have complex structure. Due to this structure, the design of appropriate sub-systems is significant and difficult process during designing robotic systems. As one of the main design process of robotic systems, the selection process of suitable robot arm is important issue for the functionality and success of the system.

With the development of robot industry, robots with various capabilities have wide range application area and there are many different robot arm alternatives having different qualifications. Large number of robot arm alternatives and differing features complicate the selection process. In the pre-selection process of robot arm, robot supplier uses intuitive methods to choose robot arm for the simulation test. Considering the number of alternatives and conflicting features, decision making process requires to be based on a scientific foundation.

In this study; to select appropriate industrial robot arm for a specific production system, industrial robot arm selection methodology based on axiomatic design is proposed, which is utilized as a scientific tool in multi attribute decision making process.

Axiomatic Design (AD) principles are employed for the selection of the most suitable industrial robot arm that satisfies the functional requirements of a certain design. AD establishes a scientific basis for design; improve design and decision-making by providing the designer a theoretical foundation based on logical and rational thought processes and tools. There are two axioms of AD. The information axiom states that the design having the least information content is the best one. Besides, the independence axiom requires that independence of functional requirements of a design must be maintained.

Criteria for industrial robot selection assumed as realizing independent axiom of axiomatic design are determined by reviewing the literature. The robot selection criteria are classified into two groups as filtering criteria and evaluation criteria by taking into account the expected properties of robot arm and the constraints. The

design parameters which serve as prerequisites or have representational structures are classified as filtering criteria. The design parameters which ensure tradeoffs in determined ranges are classified as evaluation criteria. By using these criteria, two-staged industrial robot arm selection methodology is proposed. In the first stage, robot arm alternatives are eliminated by using filtering criteria and then optimum robot arm selection is made by calculating information content of the evaluation criteria in the second stage.

In the study; filtering criteria are defined as the criteria, validity of which must be ensured and chosen as the degrees of freedom, protection class, connection type, nominal payload capacity, wrist reach distance etc. These criteria are used to eliminate the robot arm alternatives which does not satisfy the customer requirements. Because of filtering process, the information content of unnecessary robots are not calculated in the early stage, so the selection process progresses more rapidly.

The evaluation criteria are the criteria whose information contents would be calculated in the assessment process. The evaluation criteria are classified as controllable and non-controllable criteria. The concepts of design range and system range are re-defined and the information contents of each of the alternatives are calculated by means of the information axiom principle.

Some of the evaluation criteria can get all the desired values between the lower and upper limits, because of the programmable structure of robots. In these limits, the probability value of success to satisfy the functional requirement (FR) is one. Because the target destination can exactly be reached between the lower and upper limits depending on the nature of the work. These criteria are classified as controllable criteria. On the other hand, some of the evaluation criteria are not controllable. Due to the nature of the system, the values of criteria deviate from the target point. These criteria are given in terms of tolerance and classified as non-controllable criteria. In this study, the controllable criteria contain speed of each axis and the non-controllable criteria contain repeatability and investment cost.

The optimum robot selection is done according to principle of “the design that has smallest information content is the best design” that is called the information axiom after calculating the information content of each alternatives.

The proposed methodology is applied in a pilot study which contains evaluation of three industrial robot arm alternatives before the real life application. While determining the system range and design range for the criteria, the information content of the three robot arms is calculated and optimum robot arm is chosen according to information axiom principles.

Besides, a kind of decision support system integrated with software has been developed and as an application, this decision support system has been implemented in packaging process of a food industry to select an industrial robot arm. Seventeen robot arms are evaluated by the decision support system based on the proposed methodology.

The decision support system consists of three main components in integrated manner: database, inference mechanism, user interface. After determining the design parameters and qualification realizing independence axiom, the database is designed in Microsoft Excel by utilizing the design qualification and parameters. The database is developed to be easily updated and enlarged. Seventeen robot arm alternatives are

loaded to the database with the qualification and system range of each evaluation criteria. The proposed methodology, industrial robot arm selection methodology based on axiomatic design, creates the inference mechanism. The algorithm of methodology is coded in MATLAB. By using the interface, which is designed in Microsoft Excel, the target design specifications and design range of the designer or decision-maker are transferred into MATLAB. With the help of the decision support system's inference mechanism, the robot arm alternatives in the database are analyzed by considering design specifications and design range. The information contents of robots are presented in MATLAB interface as a report. Most suitable robot arm selection is done according to the information axiom principle. By viewing the MATLAB report, information content of each criteria can be analyzed.

In conclusion, in this study by using the decision support system based on the methodology, a large number of alternatives were evaluated rapidly and optimum robot arm was offered to a food industry firm for the packaging application. By interviewing the robot supplier, it was found that the chosen robot arm was consistent with the existing robot arm in the firm. The decision making process for industrial robot selection is based on a systematic and scientific basis with the use of the methodology. The proposed methodology based on axiomatic design provides following acquisitions: It ensures more consistent and effective decision making process compared to the intuitive decision making methods which are used for pre-selection process of robot arm in the current situation. The results of incorrect decision such as cost of time, cost of human resources and loss of the company's image are thus prevented. According to information axiom principle, if the design range of a criterion can not be satisfied by the alternatives, then it would be rejected. It is the most important advantage that differentiates from the other multi attribute decision making (MADM) techniques. Added new alternatives and criteria does not cause too much increase in the number of iterations compared to other MADM techniques. Because, alternatives are evaluated separately in AD rather than other MADM techniques that evaluate alternatives relatively. With the developed decision support system having high data processing and analyzing capacity, large number of robot arm alternatives can be analyzed rapidly.

In the future study; robot selection criteria could be expanded to include special purpose application by decomposing robot components in detail. Uniform distribution is assumed for the system range in the study. Instead of uniform distribution, different distribution types that simulate the real system could be used. Moreover, the validity of distribution types could be observed and analyzed. Thus, this improved decision support system could be integrated and implemented to a software as a selection module.

1. GİRİŞ

Günümüzde küreselleşmenin ve teknolojiye meydana gelen gelişmelerin etkisi, endüstriyel sahada rekabeti tetiklemiştir. Bu ortam; işletmeleri, üretim ve yönetim stratejileri açısından değişimlere zorlamıştır. İşletmeler rekabet savaşında ayakta kalmak için fiyat, yüksek kalite, verimlilik, hız, çevre yönetimi, ürün çeşitliliği ve esneklik gibi faktörleri birer rekabet silahı olarak kullanmayı öğrenmişlerdir (Özel, 2007). Teknolojik gelişmelerle birlikte; robot sistemleri de, firmaların bu rekabet faktörlerini gerçekleştirebileceği araç ve sistemler olarak endüstride yerini almıştır. Üretim maliyetlerinin düşürülmesi, üretim kalitesinin ve verimliliğinin artırılması, yapılması zor olan ve insana fiziksel olarak zarar veren yorucu işler ile sağlıklı ve zararlı ortamlarda çalışmayı gerektiren işlerin gerçekleştirilmesi amacıyla insan gücünün yerine endüstriyel robotlar kullanılmaktadır. İnsanların fiziksel güçlerinden ziyade, zihinsel güçleriyle bu sürece dahil olmalarının gerektiği anlayışı hakim olmaktadır (Yavuz, 2010).

Robot endüstrisindeki gelişme ile birlikte, robotlar büyük çapta farklı yetenekleri ile çok geniş bir uygulama sahasına sahiptir ve farklı özelliklerde birçok robot kolu alternatifi mevcuttur. Farklılaşan özellikleri ve robot kolu alternatifinin sayısının çokluğu nedeniyle üretim sistemine uygun robot kolunun seçimi, zor bir iştir. Çok ölçütlü karar verme problemi olan robot kolu seçim probleminin çözümü karmaşık bir süreci içermektedir. Karar verme, alternatifler arasından beklentilerin en iyi sağlandığı alternatifin seçilmesi işlemi olup, düşünsel bir sürecin çıktısıdır (Çebi, 2010). Endüstriyel robot kolu seçimi sürecinde karar verme işleminin sistematik ve bilimsel bir dayanağının olması, karar verme kalitesi ve tutarlılığı açısından önemlidir.

Robot sistemlerinin tasarım sürecinde, robot tedarikçileri ile müşteriler arasında ortak bir çaba söz konusudur. Robot sistemi tasarlanırken robot tedarikçisi müşterilerin gereksinimlerine uygun olarak robot kolu alternatifini seçmekte ve ana sistemi tasarladıktan sonra müşterisine sunmaktadır. Bu süreçte robot kolu seçimi sezgisel olarak gerçekleştirilmektedir. Sezgisel karar verme yönteminin yol

açabileceği olumsuz etkileri en aza indirebilmek açısından bilimsel bir temele dayanan, çok ölçütlü karar verme tekniklerinden yararlanan karar destek sisteminin kullanılması karar verme işlemini daha kaliteli ve tutarlı hale getireceği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında endüstriyel robot kolu seçimi için çok ölçütlü karar verme yöntemi olarak kullanılabilen *Aksiyomlarla Tasarım* yöntemine dayanan karar destek sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının içeriği şu bölümlerden oluşmaktadır;

İkinci Bölümde robot seçimi problemlerinde değişik karar verme yöntemlerinin kullanıldığı uluslararası dergilerde yayımlanan çalışmalar ile Aksiyomlarla Tasarımın bilgi içeriği prensibinin kullanıldığı uluslararası dergilerde yayımlanan çalışmaları incelenmiştir. Robot seçimi yayın taramasına, bu süreçte kullanılan bazı Çok ölçütlü karar verme (MADM) tekniklerine örnek teşkil etmesi açısından yer verilmiştir. *Aksiyomlarla Tasarım* yayın taraması ise karar verme problemleri için bilgi aksiyomu prensibinin kullanıldığı çalışmaların detaylı taramasını içermektedir. Bilgi aksiyomunun kullanıldığı akademik çalışmalar incelenerek bu bölümde sınıflandırılmaya çalışılmıştır.

Üçüncü Bölüm; endüstriyel robot sistemleri hakkında genel bilgileri içermektedir. Bu genel bilgiler; endüstriyel robot kolu tanımı, kullanım amaçları, bileşenleri, seçim sürecinde dikkat edilecek hususlar ve programlama yöntemi gibi konu başlıklarını kapsamaktadır.

Dördüncü Bölüm; tezde kullanılan çeşitli kavram tanımlarını ve karar verme amacıyla kullanılan Aksiyomlarla Tasarım yönteminin metodolojisini içermektedir.

Beşinci Bölüm; karar verme problemlerinin çözümünde yararlanılan karar destek sistemleri ile ilgili çeşitli tanımları içermektedir.

Altıncı Bölüm; Aksiyomlarla Tasarım yöntemine dayanarak geliştirilen endüstriyel robot kolu seçim metodolojisini içermektedir. Karar verme yöntemi olarak neden Aksiyomlarla Tasarım yönteminin seçildiğine ve endüstriyel robot kolu problemine nasıl uyarlandığına yer verilmiştir. Ayrıca endüstriyel robot kolu seçim ölçütleri tanımlanmıştır.

Yedinci Bölümde önerilen seçim yönteminin pilot çalışma uygulanması anlatılmış olup, bilgi aksiyomu prensibinin uygulanış şekline yer verilmiştir.

Sekizinci Bölüm; geliştirilen karar destek sisteminin gıda sektöründe faaliyet gösteren bir firma için uygulaması açıklanmıştır. Aksiyomlarla Tasarıma dayanan bu karar destek sistem yardımıyla robot tedarikçisi için ön seçim sürecinde robot kolunun tespiti yapılmıştır.

Dokuzuncu Bölüm; tez çalışmasının sonuçlarını ve gelecekte yapılabilecek çalışma önerilerini içermektedir.

2. YAYIN TARAMASI, AMAÇ VE KAPSAM

2.1 Robot Seçimi Yayın Taraması

Robot sistemlerine yatırım ve robot seçimi problemlerinde birbirinden farklı birçok deterministik ve deterministik olmayan metotlar kullanılmaktadır. Çoklu kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan deterministik metotlara: skrolama modelleri, AHP, outranking method, hedef programlama vb.; deterministik olmayan metotlara: oyun teorisi modeli, çok ölçütlü fayda modeli, bulanık dilsel metot ve uzman sistemler vb. yöntemler örnek olarak gösterilebilir. Bu yöntemlerin yanı sıra birden fazla yöntemin bir araya getirilmesi ile oluşan melez modeller de bu seçim sürecinde kullanılabilmektedir. Literatürde bu alanda birçok çalışma olması sebebiyle; tez çalışması kapsamında yapılan robot seçimine yönelik literatür taraması, bu süreçte hangi yöntemlerin kullanıldığına örnek teşkil etmesi amacıyla sunulmuştur. Çizelge 2.1.'de robot seçimine yönelik bazı literatür çalışmalarına yer verilmiş ve çalışmalarda uygulanan yöntemler belirlenmiştir. Birden fazla yöntemin uygulamasına yer vermiş çalışmalar için, melez modelin mi yoksa yöntemlerin ayrı ayrı kullanılarak karşılaştırılmasının mı yapıldığı açıklama bölümünde ifade edilmiştir.

Parkan ve Wu (1996) çalışmalarında MADM tekniklerinden TOPSIS, OCRA ve utility modellerini karşılaştırmış ve bu karşılaştırma ile birlikte, Khouja'nın iki aşamalı modeli olan karar verme tekniği ile bu yöntemler arasındaki farkı ortaya koymuşlardır. Robot seçimi problemi için Khouja'nın yaklaşımından yararlanarak, öncelikle veri zarflama analizi (DEA) kullanmışlar; tekrarlanabilirlik ve maliyet girdi değişkenler, yükleme kapasitesi ve hız çıktı değişken olmak üzere etkin olmayan alternatifleri elemişlerdir. İkinci aşamada ise bu alternatifleri, belirlenen parametreleri göz önüne alarak TOPSIS, OCRA ve fayda modellerinden çıkan sonuçların ortalamasını skor olarak alıp robot seçimi gerçekleştirmiştir.

Çizelge 2.1 : Robot seçimi literatür taraması.

Yazarlar	Yayın Yılı	AHP	TOPSIS	Grafiksel Yöntem	Mesafeye dayalı yaklaşım	Veri Zarflama Analizi	OCRA	Fayda Modeli	Vaka temelli muhakeme	Boyutsal analiz	Matris Yöntemi	VIKOR	ELECTRE	Açıklama
Parkan ve Wu	1996		X			X	X	X						II aşamalı (VZA+ Melez yöntem)
Goh	1997	X												Melez yöntem (AHP+QFD)
Karsak	1998					X								-
Braglia ve Petroni	1999					X								-
Braglia ve Gabbrielli	2000									X				-
Bhangale ve diğ	2004		X	X										Yöntem kıyaslaması
Chang ve Sims	2005								X					-
Bhattacharya ve diğ	2005	X	X											Melez yöntem
Venkata ve Padmanabhan	2006										X			-
Kahraman ve diğ	2007					X								-
Kumar ve Garg	2010				X									-
Chatterjee ve diğ	2010											X	X	Yöntem kıyaslaması
Kentli ve Kar	2011				X									-

Goh (1997) birden fazla karar vericinin, karar sürecine dahil olduğu, kalitatif ve kantitatif ölçütlerin birlikte dikkate alındığı robot seçimi problemleri çözümünde AHP metodundan yararlanmıştır.

Karsak (1998) çalışmasında robot seçimi için iki aşamalı bir metodoloji önerisinde bulunmuştur. İlk aşamada, VZA yönteminden yararlanarak etkin olan robot alternatiflerini belirlemiş ve etkin olmayan diğer robot alternatiflerini değerlendirmeden elemiştir. VZA kullanmasının sebebini, VZA'nın robot ölçütlerinin birbirinden bağımsız olmasını gerektirmemesi olarak ifade etmiştir. Metodolojisinin ikinci aşamasında da bulanık robot seçim algoritmasıyla seçim işlemini gerçekleştirmiştir.

Braglia ve Petroni (1999) veri zarflama analizi kullanarak mafsallı robot kolu seçimi üzerine araştırma yapmışlardır. Robot performanslarını fayda/maliyet perspektifi ile değerlendirerek optimal robot seçimini hedeflemişlerdir. Dual VZA modeli ile de efektif olmayan robotların teknik ve ekonomik analizlerini yapmışlardır.

Braglia ve Gabbrielli (2000) çalışmasında endüstriyel robot seçimi için boyutsal analiz (dimensional analysis) tekniğini kullanmışlardır. Bu yöntemle robotların kalitatif ve kantitatif özelliklerini dikkate alarak seçim işlemini yapmışlardır.

Bhangale ve diğ. (2004) çalışmalarında robot imalatçıları, kullanıcıları ve tasarımcıları için robot seçiminde kullanılmak üzere robot seçim parametrelerini ayrıntılı olarak tanımlamış ve kodlama metodundan yararlanarak güncellenebilir bir veritabanı oluşturmayı hedeflemişlerdir. Bununla birlikte; bu veritabanından yararlanılarak, birkaç adımdan oluşan, çok ölçütlü karar verme problemi çözümü için robot seçimi prosedürü tanımlamışlardır. Tanımladıkları bu prosedür gereği, ilk adımda robot alternatifleri değerlendirilmesi istenen ölçütlerin eşik değerleri aracılığıyla ön elemeden geçirilmektedir. Bir sonraki adımda, matematiksel veya grafiksel yaklaşıma dayanan değerlendirme yöntemi ile en uygun robot seçimi gerçekleştirilmektedir. Çalışmada; matematiksel metot olarak TOPSIS, grafiksel metot olarak da “line graph” ve “spider diagram polygon” yöntemleri ile kıyaslama yapılmıştır. Bu yaklaşımı, “pick-n-place” operasyonları için uygun robotun seçimine uygulamışlardır.

Chang ve Sims (2005) robot seçim sürecinin yanı sıra robot iş hücresi tasarımı hakkında bir metodolojisi önerisinde bulunmuşlardır. “Case-Based reasoning for

ROBot selection(CB-ROB)” olarak isimlendirdikleri yaklaşım, yalnızca robot seçimini değil; aynı zamanda ürün, mandal, iş hücresi yerleşimi, çizelgeleme, malzeme akışı vb. durumları açısından da seçimleri dikkate almaktadır. Geçmiş tecrübelerden ve vakalardan yararlanarak geliştirilen bir yaklaşım, bu vakaların sistematik olarak depolanması ve seçim sürecinde yararlanılmasını içermektedir. Robot iş hücresi tasarımı sürecinin adımları: mevcut operasyonel sürecin anketi, operasyon nitelikleri, robot seçimi, robot iş hücresi mühendisliği, robot iş hücresi uygulamasıdır. Süreç; üretim oranı, operasyon özellikleri, robot kolu tutucularının özellikleri, görev karmaşıklığı, değişme sıklığı, yerleşim ve alan gereksinimleri vb. özelliklerin sorgulanması ile başlanmakta ve mevcut veri tabanındaki vakalara benzerliklerin analitik olarak tespiti ile devam etmektedir. Bu benzerliklerin saptanması seçim faktörlerinin indekslerinin belirlenmesi ile yapılmaktadır. Sonraki aşamada da, seçim işlemi gerçekleştirilmektedir. Yazarlar, geliştirmiş oldukları metodolojiyi paletleme iş hücresi tasarımı için kullanmışlardır.

Bhattacharya ve diğ. (2005) AHP ve QFD’den oluşan bir yaklaşımı robot seçimine uygulamışlar ve ekonomik açıdan da yatırımın değerlendirilmesinin sağlanması için maliyet faktör ölçümü yaklaşımını bu modele dahil etmişlerdir. Bu melez modelde; müşteri gereksinimler AHP ile ağırlıklandırılmış, QFD yardımıyla mühendislik gereksinimleri ile eşleştirilmiş ve böylece teknik özelliklerin önem dereceleri saptanmıştır. AHP yardımıyla teknik gereksinim parametrelerine göre robot alternatifleri değerlendirilmiş ve robot seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak da, yukarıda bahsedildiği gibi robotların maliyet bileşenleri, daha önce geliştirilmiş formülasyon yardımıyla dahil edilerek robot seçimi yapılmıştır.

Venkata ve Padmanabhan (2006) çalışmalarında, endüstriyel robot alternatiflerinin değerlendirilmesi amacıyla “digraph and matrix methods” metodunu önermiştir. Bu metot, robotlara ait kalitatif ve kantitatif parametreler aynı anda dikkate alınabildiği bir çözüm de sunmaktadır.

Kahraman ve diğ. (2007) endüstriyel robot seçimi için ekonomik ve teknik ölçütlerin dikkate alındığı bulanık hiyerarşik TOPSIS metodunu geliştirmişlerdir. Bu yeni metot, AHP’nin hiyerarşik yapısını içermekte, fakat ikili kıyaslama metodunu kullanmamaktadır. Robot seçim ölçütleri, kalitatif değişken cinsinden ele alınmış ve bulanık sayılarla ifade edilmiştir.

Kumar ve Garg (2010) çalışmasında endüstriyel robot seçimi için çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan “mesafeye dayalı yaklaşım (distance based approach method)” isimli bir metottan yararlanmış ve duyarlılık analizi ile robotun kritik ve kritik olmayan performans özelliklerini analiz etmişlerdir. Önerdikleri bu metodun, çok ölçütlü karar verme problemlerinde kullanılan matematiksel programlama modellerine göre hesaplama yönteminin zor olmaması sebebiyle üstünlüğünü vurgulamışlardır. Bununla birlikte değerlendirme kriteri sayısındaki artışın etkisi sebebiyle AHP, MAUT ve MADM gibi çok kriterli karar verme tekniklerinin; bu metoda oranla karar verici için zorluk derecesinin daha fazla olacağını ifade edilmişlerdir.

Kentli ve Kar (2011), robot seçim sürecinde mevcut MADM tekniklerine kıyasla uygulanabilirliği daha kolay bir yaklaşım olan tatmin fonksiyonu ve uzaklık ölçümüne bağlı çok ölçütlü robot seçim yaklaşımını kullanmışlardır. Bu yaklaşımda belirlenen ölçütler baz alınarak tatmin fonksiyonu oluşturulmakta ve bu fonksiyon kullanılarak her alternatifin ilgili ölçütünün tatmin değeri hesaplanmaktadır. Her bir alternatifin toplam tatmin değeri, Euclidian forma benzer bir şekilde hesaplanmaktadır. İdeal sonuç minimum uzaklığa sahip sonuçtur. Yazarlar çalışmada Parkan ve Wu’nun çalışmasındaki ölçütleri kullanarak yaklaşımın testini yapmışlardır.

Chatterjee ve diğ. (2010) çalışmalarında endüstriyel uygulamalara özel robot seçimi için çok ölçütlü karar verme teknikleri olan VIKOR ve ELECTRE yöntemlerini önermişlerdir. Bu yöntemler, “pick n place” uygulaması ve özel bir endüstri uygulaması için robot seçimine uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmışlardır. Kalitatif ve kantitatif değişkenler yöntemlere birlikte dahil edilmiş ve birden fazla karar vericinin görüşü de karar sürecine yansıtılmıştır.

2.2 Aksiyomlarla Tasarım Metodu Yayın Taraması

Aksiyomlarla Tasarım (AD) yöntemi, Suh tarafından ortaya atıldığından beri birçok çalışma sahasına uygulanmış ve bu model geliştirilerek yeni yaklaşımlar ortaya çıkarılmıştır. Bağımsızlık ve bilgi aksiyomu olmak üzere iki aksiyom içeren bu yöntem kullanım amaçlarına göre farklılaşmıştır. Çizelge 2.2’de karar verme amacıyla kullanılan Aksiyomlarla Tasarım yöntemine yer verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Aksiyomlarla Tasarım yayın taraması.

Yazarlar ve yayın yılı	Aksiyom		Uygulama konusu				Yöntem			Değer. Türü		Uygulama
	Bağımsızlık	Bilgi	Ürün/tasarım kavramı seçimi	Üretim sis. tasarımı/seç.	Tedarikçi seçimi	Diğer	AD Uygulaması	Melez	Teori	Kesin	Bulanık	
Babic (1999)		1		1			1			1		Cıvata üretimi için makine seçimi
Helander ve Lin (2002)	1	1	1				1			1		Biyomekanik el aleti ve antropomorfik atölye tasarımı
Jang ve diğ. (2002)	1	1	1				1			1		Deniz araçları tasarımı (Ana motor ve mavna tasarımı)
Kulak ve Kahraman (2005)		1		1					1	1	1	Esnek imalat sistemi seçimi - Traktör parçaları
Kulak ve diğ (2005)		1		1					1	1	1	Punç makinesi seçimi
Kulak ve Kahraman (2005b)		1			1				1 (AHP+FAD)	1	1	Nakliye şirketleri seçimi
Kulak (2005)		1				1		1 (FAD+Uz. S)		1	1	Malzeme taşıma ekipmanı seçimi
Coelcho ve Mourao (2007)	1	1		1			1			1		Çelik parçaları üretim tekniği seçimi
Özel ve Özyörük (2007)		1			1			1 FAD			1	Tedarikçi seçimi problemi (beyaz eşya üreticisi)
Akay ve Kulak (2007b)		1	1					1 (Gri İliş. An. + FAD)		1	1	Kavram değerlendirme (bulaşık makinesi tasarımı)
Yücel ve Aktaş (2007)		1	1					1 (FAD)			1	Cep telefonu tasarımı
Liang (2007)	1	1	1				1			1		Grafiksel kullanıcı arayüz tasarımı (simgelerin değerlendirilmesi)
Çebi ve diğ. (2008)		1				1			1 (AAS + FAD)		1	Tesis yeri seçimi - Alışveriş merkezi
Ge ve diğ. (2008)		1				1		1 (FAHP ve AD)		1	1	Ürün tasarım planı/programı değerlendirmesi

Çizelge 2.2 (devam): Aksiyomlarla Tasarım yayın taraması.

Yazarlar ve yayın yılı	Aksiyom		Uygulama konusu					Yöntem		Değer. Türü		Uygulama
	Bağımsızlık	Bilgi	Ürün/tasarım kavramı seçimi	Üretim sis. tasarımı/seç.	Tedarikçi seçimi	Diğer	AD Uygulaması	Melez	Teori	Kesin	Bulanık	
Çebi ve Çelik (2008)		1	1					1 (FAD)			1	Gemi ekipmanları seçimi (Basınçlı hava sistemleri temel bil.)
Kahraman ve Cebi (2009)		1				1			1 (HFAD)	1	1	Personel seçimi (Öğretim elemanı)
Tian ve diğ. (2009)		1	1					1 (gri iliş. an. + FAD)		1	1	Mekanik sürüş sistemleri değerlendirmesi
Cicek ve Celik (2009)		1				1			1 (FAD-MSI)	1	1	KDS seçimi (malzeme seçimi)
Çelik ve diğ. (2009a)		1				1		(FAHP + FAD + QFD)		1	1	Ham petrol piyasalarının değerlendirilmesi ve yatırım kararı
Çelik ve diğ. (2009b)		1			1			1 (FAD+AHP)			1	Gemi onarım tersaneleri değerlendirmesi
Kahraman ve diğ. (2009)		1				1		1 (HFAD)			1	Yenilenebilir enerji kaynaklarının karşılaştırılması
Celik (2009a)		1				1		1 (FAD+FAHP)			1	Çevre yönetim sistemi yapılandırılması ve kavram seçimi
Çelik (2009b)		1				1		1 (ANP +FAD)			1	Süreç yönetim sistemi tasarımı ve kavram seçimi
Cebi ve Kahraman (2010b)	1		1						1	1	1	Buzdolabı kapısı tasarımı
Cheng ve Huang (2010)		1	1					1 (melez MADM)		1	1	Hidrolik basınçlı şarj seçimi
Cheng (2010)		1		1				1 FAD		1	1	Punç makinesi seçimi
Cebi ve Kahraman (2010a)		1				1			1 (GDSS+FAD)	1	1	Acil servis yeri seçimi
Akay ve diğ (2011)		1	1						1 (IT2-FIA)		1	Bant yapıştırma mekanizması tasarımında kavram seçimi
You (2011)		1			1		1			1		Tedarikçi seçimi problemi (genel amaçlı model)

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda pilot uygulama açısından bağımsızlık aksiyomuna, bazılarında bilgi aksiyomuna yer verilirken, bazılarında ise her iki aksiyomun beraber yer aldığı Aksiyomlarla Tasarım metodolojisi kullanılmıştır. Kulak ve diğ. (2010) çalışmalarında 1990-2009 yılları arasındaki bu literatür çalışmalarını; kullanılan aksiyom türü, uygulama alanı, yöntem ve değerlendirme tipine göre sınıflandırmıştır. Bu çalışmada ise, yazarların sınıflandırma sistematüğinde kısmen yararlanılmış olup; çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde yararlanılan Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu uygulamalarının literatür taramasına yer verilmiştir. Kulak ve diğ. (2010) çalışmasında da görüleceğı üzere AD'nin karar verme alanında kullanılan aksiyomu bilgi aksiyomu olup; çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Bu sebeple çalışma bilgi aksiyomunun yayın taraması ile sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte; belirli kriterlere göre alternatifler arasında seçim sürecinde kullanılan bağımsızlık aksiyomu çalışmalarına da yer verilmiştir. 1999-2011 yılları arası yayınlar “kullanılan aksiyom türü, genel uygulama alanı, yöntem ve değerlendirme türü” olmak üzere dört ana grupta incelenmiştir:

1. Aksiyom türü: Çalışmada kullanılan aksiyom türünü belirlemektedir. Yukarıda da bahsedildiğı üzere “karar verme” konusu kapsamında AD uygulamalarına yer vermiş olan akademik çalışmaların hemen hemen hepsinde bilgi aksiyomu kullanılmıştır. Birkaç çalışmada da bağımsızlık aksiyomundan yararlanıldığı incelenmiştir.
2. Uygulama konusu: Bu bölümde “karar verme” kapsamında genel uygulama konularına yer verilmiştir. Çalışmaların ortak uygulama alanları, çeşitli uygulama konuları altında gruplandırılmaya çalışılmıştır. İncelenen literatürde uygulama alanları; ürün veya ürün kavram tasarımı seçimi, üretim sistemi seçimi ve tedarikçi seçimi konuları altında gruplandırılmıştır. Bunların dışında kalan uygulama alanları içerisinde ortak alan sayısı az olması sebebiyle belirli gruplar altına alınmamış olup, *diğer* uygulama alanında sunulmuştur.
3. Yöntem: Çalışmalarda uygulanan yöntemi tanımlamaktadır. Çalışmalar, uygulanan yöntemler üç ana grupta toplanmıştır. Bunlar; geleneksel AD uygulamasını içeren çalışmalar, AD'nin başka yöntemlerle birleştirildiğı

melez yöntemleri içeren çalışmalar ve teoriyi geliştirmeyi amaçlayan çalışmalardır.

4. Değerlendirme türü: Çalışmada bulanık veya klasik küme teorisinin kullanıldığını ifade etmektedir.

2.2.1 Ürün-kavram seçimi

Tüketiciler; belirli ihtiyaçlarını karşılamak üzere mevcut ürün alternatifleri arasından seçim yapmaktadırlar. Bunun yanında; tasarımcılar da yeni ürün tasarımının aşamalarından biri olan kavram seçimi sürecinde ürün kavram fikirlerini değerlendirmektedirler. Ürün ve ürün kavramı seçimi konuları üzerine, AD uygulamasına yer verilen çalışmalar şunlardır:

Helander ve Lin (2002) çalışmalarında, ergonomik tasarım kapsamında biyomekanik el aleti ve antropometrik atölye tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım yaklaşımı önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmalarında, tasarım aktivitelerini bağımsızlık aksiyomu yardımıyla yapılandırmışlardır. Seçim aşamasında, sistem ve tasarım aralığı kavramlarını yeniden tanımlayarak, antropometrik tasarımda bilgi içeriği hesaplamak için Suh'un önerdiği geleneksel AD'den farklı bir yaklaşım kullanmışlardır.

Jang ve diğ. (2002) çeşitli deniz araçları tasarım problemlerinin çözümü için Aksiyomlarla Tasarımın bağımsızlık ve bilgi aksiyomunu önermişlerdir. Uygulama örnekleri olarak; deniz araçlarına ait itme sistemi tasarımı için bağımsızlık aksiyomunu, ana motor seçimi problemi için bilgi aksiyomunu ve mavna tasarımı için bağımsızlık ve bilgi aksiyomuna dayanan bir yaklaşım kullanmışlardır.

Akay ve Kulak (2007); bulanık bilgi aksiyomu ve gri ilişkisel analize dayalı, Gri Bulanık Bilgi Aksiyomu (GFIA) adını verdikleri melez bir model önerisinde bulunmuşlardır. Bu modeli, ürün tasarım evresinin ilk basamaklarından birini oluşturan ürün tasarım kavramları değerlendirmesi süreci için ortaya atmışlar ve bulaşık makinesi tasarım kavramlarının değerlendirilmesi problemine uygulamışlardır. Geliştirdikleri bu yeni model; kalitatif değişkenlerin bilgi içeriği hesaplamasında bulanık bilgi aksiyomunu kullanırken kantitatif değişkenlerin bilgi içeriği hesabı için gri ilişkisel analizi kullanan bir yaklaşımdır. Tian ve diğ. (2009) bulanık bilgi aksiyomu ve gri ilişkisel analize dayalı benzer bir yaklaşımı mekanik sürüş sistemleri değerlendirmesi için kullanmışlardır.

Yücel ve Aktaş (2007) elektronik tüketim ürünlerinin ergonomik tasarım açısından değerlendirilmesi amacıyla bulanık Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomuna dayanan bir yaklaşım önermişler. Bu yaklaşımı da cep telefonlarının ergonomik açıdan değerlendirmesinde uygulamışlardır.

Liang (2007) çalışmasında grafiksel kullanıcı arayüzü tasarımı yapılırken simgelerin (ikon) değerlendirmesi için bilgi aksiyomundan nasıl yararlanılabileceğini sunmuştur. Aynı çalışmada grafiksel arayüzlerde yer alan simgelerin tasarımı için AD'nin bağımsızlık aksiyomunun kullanılması önerilerek yöntem süreç kontrol ekranının alt birimi olan alarm ekranında yer alan simgelerin tasarımında kullanmışlardır.

Çebi ve Çelik (2008) gemi ekipmanları seçimi için bulanık bilgi aksiyomuna dayanan karar verme yaklaşımı sunmuşlar ve bu yaklaşımlarını basınçlı hava sistemlerinin temel bileşenlerinin seçimine uygulamışlardır.

Çebi ve Kahraman (2010b) çalışmalarında; klasik Aksiyomlarla Tasarım yaklaşımının bağımsızlık aksiyomundaki fonksiyonel gereksinim ve tasarım parametrelerinin ilişkilerinin 0-1 kesin sayıları şeklinde değerlendirilmesi yerine, tasarımın bağımsızlık derecesinin bulanık sayılarla kantitatif olarak belirlendiği bir formülasyon ve yaklaşım önerisinde bulunmuşlardır. Bu yaklaşımda; bilgi sahaları arasındaki değişkenler arası ilişkiler, “ilişki var” veya “ilişki yok” yerine dilsel değişkenler kullanılarak ilişkinin derecesi ifade edilmektedir. Bu ilişki dereceleri geliştirilen formülasyon yardımıyla tasarımların bağımsızlık derecelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Böylece bilgi aksiyomu kullanmaksızın zayıf ilişkilerin tasarımcı tarafından dikkate alınacağı ve en iyi tasarımın seçileceği belirtilmiştir. Geliştirdikleri yaklaşımları, buzdolabı kapısı tasarımına uygulamışlardır. Yazarın bu çalışması, karar verme konusu kapsamında AD'nin bağımsızlık aksiyomunu uygulandığı istisnai çalışmalardandır.

Cheng ve Huang (2010), tasarım aralığı değerlerinin tam ve eksik olduğu durumları dikkate alan; değişkenlerin gerçek, aralıksal sayılar veya dilsel terimlerle ifade edildiği alternatif değerlendirme problemleri için bilgi aksiyomundan yararlanan melez çok ölçütlü karar verme modeli ortaya koymuşlardır ve bu modeli, hidrolik basınç şarjı seçimine uygulamışlardır.

Akay ve diğeri (2011) çalışmalarında ürün tasarım sürecinin aşamalarından olan kavram seçimi aşaması için bulanık bilgi aksiyomunu genişleterek 2. tip bulanık bilgi aksiyomu (interval type-2-fuzzy information axiom - IT2-FIA) metodolojisi geliştirmişlerdir. 2. tip bulanık küme teorisinin, dilsel ifadelerdeki belirsizliklerin yakalanabilmesi amacıyla kullanılabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca geliştirilen IT2-FIA metodolojisi, toplama süreci esnasında karar vericinin tutumunu içeren “ordered weighted geometric aggregation (OWGA)” işleci (operator) kullanılarak genişletilmiştir. Yazarlar, yöntemlerini bant yapıştırma mekanizması tasarımında kavram seçimi sürecine uygulamışlardır.

2.2.2 Üretim sistemi/teknolojisi seçimi

Üretim sistemi, üretim faktörlerin belirli bir dönüştürme sürecinden geçirilerek mal veya hizmetin üretildiği sistemlerdir ve işletmelerin rekabet gücü içerisinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu bölümde; bu üretim sistemlerinin, üretim sistemleri tasarımı aşamasında ekipmanların, makinelerin ve üretim teknolojilerinin seçimi süreçlerinde AD yönteminden yararlanan çalışmalara yer verilmiştir:

Babic (1999), esnek imalat sistemlerinin tasarımında sistemin yapısının belirlenmesi amacıyla Aksiyomlarla Tasarımı temel alan bir karar destek sistemi ve tasarım metodolojisi geliştirmiştir. Geliştirdiği sistemi, cıvata üretimi yapan bir firma için makine seçimi probleminde uygulamıştır.

Kulak ve Kahraman (2005b), bilgi aksiyomunu ilk olarak bulanık sayılar ile birlikte kullanmışlardır. Geliştirdikleri bulanık bilgi aksiyomu yöntemini esnek imalat sistemi seçiminde kullanmışlardır. Uygulamalarında, traktör parçaları üretimi yapan şirket için fonksiyonel gereksinimleri ve tasarım parametrelerini üçgensel bulanık sayılara ait üyelik fonksiyonları ile ifade ederek esnek imalat sistemi karşılaştırması yapmışlardır.

Kulak ve diğ. (2005) ağırlıklandırılmış ve ağırlıklandırılmamış bulanık çok ölçütlü Aksiyomlarla Tasarım yaklaşımı önerisinde bulunarak; kesin (crisp) ve bulanık sayılar ile bilgi aksiyomundan yararlanarak punç makinesi seçimi yapmışlardır.

Coelho ve Mourao (2007) çalışmalarında “imalat için tasarım” felsefesi uygulaması için çelik parçaları üretim teknolojisi seçiminde Aksiyomlarla Tasarımı araç olarak kullanmışlardır. Bu teknoloji seçimi yapılırken üretilecek ürün ile birlikte sürecin de belirlendiği “eş zamanlı mühendislik” çerçevesinde konu ele alınmıştır. Üretim için

fonksiyonel gereksinimlerin, tasarım parametreleri ile karşılanıp karşılanmadığını belirlemek için bağımsızlık aksiyomundan; uygun teknoloji yönetimi seçimi için de bilgi aksiyomundan yararlanmışlardır.

Cheng (2010) fonksiyonel gereksinimler açısından bilgi eksikliğinin olduğu durumlarda bilgi aksiyomuna dayalı çok ölçütlü karar destek sistemi önerisinde bulunmuştur ve bu metodu punç makinelerinin seçimine uygulamışlardır. Bu metotta, tasarım aralığının belirli olmadığı durumlarda çözüme ulaşmak için kullanıcı tatmin derecesi dikkate alınmaktadır.

2.2.3 Tedarikçi seçimi

İşletmelerin başarıya ulaşmasında doğru tedarikçi ile çalışılması önem arz etmektedir. Bu bölümde de tedarikçi seçim problemleri için AD kullanan literatür çalışmaları incelenmiştir:

Kulak ve Kahraman (2005a); Kulak ve diğ. (2005) tarafından önerilmiş olan ağırlıklandırılmış ve ağırlıklandırılmamış bulanık çok ölçütlü Aksiyomlarla Tasarım yaklaşımını çok ölçütlü karar verme problemi olan nakliye şirketleri seçimi probleminde kullanmışlardır.

Özel ve Özyörük (2007) üçgensel bulanık sayıları kullanarak bulanık bilgi aksiyomu ile beyaz eşya üreticisi firmalar için tedarikçi seçimi problemini ele almışlardır.

Celik ve diğ. (2009b) çalışmalarında bulanık bilgi aksiyomu, AHP ve grup kararı algoritmasını birleştirerek, gemi havuzlama faaliyetlerinin yapıldığı gemi onarım tersanelerinin performans ölçümü için bir değerlendirme modeli ortaya koymuşlardır.

2.2.4 Diğer çalışmalar

Bu bölümde yukarıdaki sınıflandırma dışında kalan ve literatürde yer alan AD'nin bilgi aksiyomu uygulamasını içeren çalışmalara yer verilmiştir:

Kulak (2005) çalışmasında çok ölçütlü malzeme taşıma ekipmanları seçimi problemleri için uzman sistem ve AD'den oluşan bir karar destek sistemi tasarlamıştır. Tasarlanan karar destek sistemi (FUMAHES) bir veri tabanı, kural bazlı sistem ve çok ölçütlü karar verme modülünü içermektedir. FUMAHES'in veri tabanı ve kural bazlı sistem modülü yardımıyla müşterinin gereksinimine ait en uygun malzeme taşıma ekipmanı tipleri belirlenmekte ve AD'nin bilgi aksiyomu

yardımla en uygun alternatif seçilmektedir. Sistemde AD yapısı hiyerarşik olmayıp; ekonomik ve teknik parametreler, kesin ve bulanık sayıların aynı anda kullanılabildiği bir yapıyı içermektedir.

Çebi ve diğ. (2008) çalışmalarında karar problemlerinin çözümü için Analitik Ağ Süreci (AAS) ile bilgi aksiyomundan oluşan melez bir yaklaşım geliştirmişlerdir ve yaklaşımlarını alışveriş merkezi yeri seçiminde uygulamışlardır. Önerdikleri bu melez yaklaşım ile; ölçütler arası iç ve dış bağımlılıklar, ASS yöntemi ile modellenip ağırlıklandırılırken, alternatiflerin değerlendirilmesi bulanık ortamda bilgi aksiyomu ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen bu yaklaşımın alternatif sayısının fazla olduğu ve ölçütler arası ilişkilerin mevcut olduğu karar verme problemlerinin çözümüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Ge ve diğ. (2008), ürün tasarım planı değerlendirmesi için bulanık AHP ve Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomunu birleştiren bir yaklaşım önerisinde bulunmuşlardır.

Kahraman ve Çebi (2009) çalışmalarında çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan bulanık bilgi aksiyomu genişleterek yeni bir metodoloji olan hiyerarşik bulanık Aksiyomlarla Tasarım (HFAD – Hierarchal Fuzzy Axiomatic Design) metodunu geliştirmişlerdir. HFAD, hiyerarşik yapıyı içerdiği gibi, kesin ve bulanık girdileri birlikte içerebilmektedir. Bu yöntemde nicel ve nitel değerlendirmeler, nicel değerlere dönüştürülmektedir. Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra bilgi aksiyomundaki tasarım parametrelerinin önem dereceleri saptanmakta ve kriterlerin ağırlıklandırılmış önem dereceleri dikkate alınarak minimum bilgi içeriğine sahip alternatifin seçimi yapılmaktadır. Bu metodoloji öğretim elemanı seçimi problemine uygulanmıştır.

Çelik ve diğ. (2009) gemicilik endüstrisinin bir alt kolu olan ham petrol tankeri piyasasında yatırım kararları için bulanık analitik hiyerarşi süreci, bulanık bilgi aksiyomu ve kalite fonksiyonu göçeriminin bütünleştirilmesine dayanan kalite gemisi (SoW) modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu model yardımıyla, ham petrol piyasaları için tespit ettikleri performans ölçütlerinin önemlerini FAHP ile ağırlıklandırılmış ve uzman kişilerin görüşlerine göre çeşitli kriterler açısından değerlendirilen piyasaların, bilgi aksiyomu metodu ile bilgi içeriği hesaplanıp en uygun piyasa seçimini yapılmıştır. Ayrıca gemi kiralayıcısı algısına dayalı

değerlendirme için ise QFD'den yararlanılarak teknik özelliklerin bulanık ağırlıkları tespit edilip, geçmiş istatistik veriler kullanılarak piyasaların bilgi içerikleri hesaplanmıştır. Kahraman ve diğ. (2009) bir başka yatırım problemi olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında en uygun kaynağın seçimi probleminin çözümü amacıyla hiyerarşik bulanık aksiyomatik tasarım metodunu önermişlerdir. Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağı belirlenmeye çalışılmıştır.

Çelik (2009a) bulanık bilgi aksiyomu ve AHP'den yararlanarak uluslararası güvenlik yönetim sistemi ve ISO 14001:2004 standartlarının birleşiminden oluşan entegre çevresel yönetim sistemi (IEMS) yapılandırması için melez bir model ortaya koymuşlardır. Bu IEMS, gemi endüstrisinde çevre performansını artırmak için hangi kriterlere odaklanması gerektiğini tespit etmeye yarayan karar destek sistemi olarak önerilmiştir. Çelik (2009b) başka bir çalışmada gemi sanayisi için kalite, çevresel kaygı, mesleki sağlık ve güvenlik gereksinimi konuları kapsamında bütünlük süreç yönetim sistemi (IPMS) geliştirmek amacıyla bulanık bilgi aksiyomu ve analitik ağ sürecine dayanan bir yaklaşım önerisinde bulunmuştur.

Çicek ve Çelik (2010), bulanık aksiyomatik tasarıma dayanan model seçim arayüz algoritması olan FAD-MSI'nın genel çerçevesinde değişiklik yaparak, farklı malzeme seçim problemleri için farklı MADM tekniğinin kullanıldığı bir algoritma önerisinde bulunmuşlardır. Geliştirdikleri bu algoritma; parametre sayısı, türü (öznel, nesnel) ve malzeme alternatifi sayısı ölçütlerini dikkate alarak malzeme seçimi için bulanık bilgi aksiyomundan yararlanarak en uygun MADM tekniği seçimini yapmakta ve belirlenen MADM tekniği ile malzeme seçimini gerçekleştirmektedir.

Çebi ve Kahraman (2010a) çalışmalarında bulanık bilgi aksiyomuna dayanan grup karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistem, veritabanı güncellenebilir bir yazılım ile desteklenmiş ve acil servis yeri seçimi problemine uygulanmıştır. Önerdikleri yaklaşım, kalitatif ve kantitatif parametreleri beraber dikkate alan bir yaklaşım olup, birden fazla karar vericinin düşüncesinin seçim sürecine yansıtılabildiği bir algoritmayı içermektedir.

You (2011); tedarikçi seçimi problemlerinde kullanılan çok ölçütlü yaklaşımların çoğunun, karar vericinin bilgisine ve geçmiş tecrübelerine dayanması sebebiyle; bu dezavantajı aşmak için bilgi aksiyomu yaklaşımını bu problemlerin çözümünde kullanmıştır.

2.3 Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma kapsamında çok ölçütlü karar verme problemi olan endüstriyel robot kolu seçim problemi için *Aksiyomlarla Tasarımın* bilgi aksiyomu prensibini temel alan karar destek sistemi geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Büyük ölçekli mühendislik sistemler, birçok alt sistemden oluşmaktadır ve bu sebeple karmaşık tasarım sürecine sahiptirler. Bu sebeple, tasarım sürecinde sistemi alt bileşenlerine ayırmak ve bu alt bileşenlerin tasarımının, tasarım ekipleri tarafından ortak çaba ile ayrı ayrı gerçekleştirilmesi karmaşıklığın azaltılmasında yararlı olacaktır (Hong ve Park, 2011). Robot sistemleri de büyük ölçekli sistemler olup, karmaşık bir tasarım sürecine sahiptir. Bu sistemlerin tasarımı, modüler olarak daha önce tasarlanmış olan ekipman, araç ve yapıların farklı kombinasyonlarla bir araya getirilerek gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, endüstriyel robot sistemlerinin ana bileşeni olan robot kolunun seçim sürecinin hızlandırılması amacıyla ön seçim süreci olan, simülasyon çalışmasına dahil edilecek robot kolunun seçiminin, bilimsel bir temele dayanan *Aksiyomlarla Tasarım* yönteminden yararlanarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Robot kolu seçimi yapılırken robot kolunun bileşeni olan uç elemanların seçimi seçim sürecine dahil edilmemiştir.

Çalışma kapsamında hedeflenen diğer bir amaç ise; endüstriyel robot kolu seçim süreci için bilgi aksiyomuna dayanan bir metodoloji geliştirmektir. Suh'un (2001) önermiş olduğu Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu prensibine göre tasarım ölçütleri tolerans olarak ifade edilirken (s. 41), endüstriyel robot kolu seçim ölçütlerinden bazıları robot tedarikçileri tarafından robotun programlanabilir özelliğinden dolayı kontrol edilebilir değer aralığı olarak ifade edilmektedir. Kavramsal manada bu farklılıktan dolayı, AD uygulanırken seçim ölçütleri için tasarım aralığı ve sistem aralığı kavramları yeniden tanımlanmıştır. Bilgi içeriğinin hesaplama yönteminin, tasarım hedeflerini ifade eden fonksiyonel gereksinimlerin karşılanma olasılığına dayanması temel alınarak robot alternatiflerine ait bilgi içeriğinin hesaplanması ve üretim hattı için en uygun robotun belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada belirlenen üçüncü ana amaç ise; endüstriyel robot kolu seçiminde yararlanılmak üzere, sunulan metodolojiyi temel alarak çalışan karar destek sistemi

geliştirmek ve bu sistem yardımıyla güncellenebilir veritabanında yer alan robot alternatiflerinin değeriendirilmesini sağlamaktır.

.

3. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR

3.1 Endüstriyel Robot Tanımı

Otomotiv, elektrik, elektronik ve mekanik vb. alanlarda başta olmak üzere hemen hemen her alanda kullanılan endüstriyel robotlar için farklı tanımlamalar yapılmıştır.

Amerika Robot Enstitüsü sanayi robotunu şu şekilde tanımlamıştır (Ersöz, 2007):

“Çeşitli işleri yapabilmek için programlanmış hareketlerle malzeme, parça, alet veya özel cihazları taşımak için tasarlanmış çok işlevli, tekrar programlanabilir düzenek”.

Uluslar Arası Standartlar Enstitüsünün (ISO), TR 8373 numaralı tanımına göre sanayi robotu şu şekilde tanımlanmıştır: “Üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya tekerlekleri olan endüstriyel uygulamalarda kullanılan manipülatör”.

Bir robot, çeşitli işleri yerine getirmek üzere, malzeme, parça veya özel aletleri değişken programlanabilir hareketlerle taşımak üzere tasarlanmış, yeniden programlanabilir, çok fonksiyonlu bir aygıttır (Çengelci ve Çimen, 2005).

Yukarıda verilen tanımlarda geçen terimlerin ayrıntılı açıklamalarına yer verecek olursak (Gök ve Afyon, 1999);

Programlanabilir: Programlanmış hareketleri veya yardımcı fonksiyonları fiziksel değişiklik yapmadan değiştirilebilmeyi,

Çok amaçlı: Fiziksel değişiklik yaparak, farklı bir uygulamaya uyarlanabilmeyi,

Fiziksel Değişiklik: Mekanik yapısında ya da kontrol sisteminde yapılan değişiklikleri (programlama kasetinin, ROM, vs. değiştirilmesi hariç),

Eksen: Robotun doğrusal veya dairesel hareketini belirlemekte kullanılan yönü ifade eder.

3.2 Endüstriyel Robotların Kullanım Sebepleri

Endüstriyel robotlar; çevresel ve ekonomik koşullar, üretim sürecinde yer alan hammadde veya yarı mamul ile nihai ürünün özellikleri, yapılacak işin niteliği veya üretim sürecinin özelliği ilgili bir takım sebeplerden dolayı sanayide gerek insanın yerini almakta gerekse insanla birlikte üretim faaliyetlerine katılmaktadırlar. Robotların sanayide başlıca tercih edilme sebepleri şunlardır (Ersöz, 2007):

- İşçilik maliyetini azaltmak
- Tehlikeli ve riskli yerlerde çalışanların yerini almak
- Daha esnek bir üretim sistemi sağlamak
- Daha tutarlı bir kalite kontrol sağlamak
- Çıktı miktarını artırmak
- Vasıflı işçilik sıkıntısını karşılayabilmek
- Vardiya sayısına bağlı kalmadan aralıksız çalışma kabiliyeti
- İnsana göre daha fazla yük kaldırma kabiliyeti
- İnsana göre daha çabuk sonuca ulaşma kabiliyeti
- Tekrarlı işlerde yeterlilik
- Tehlikeli ortamlarda çalışabilme kabiliyeti
- İnsan hatalarını elimine etme
- Kalite kontrol hatalarını minimuma indirme
- Kendini hızla amorti etme
- Yüksek hareket esnekliği
- Yüksek kar elde edilmesi.

3.3 Endüstriyel Robotların Yapısı

Robotların yapıları, sanayideki uygulamalarına, işlevlerine ve yeteneklerine göre farklılık gösterebilmektedir. Robotlar; çok basit noktadan noktaya hareketlerden, denetimi yapılabilen ve bütünleşik imalat sisteminin bir parçası olarak kullanılan bilgisayar tarafından yönlendirilen karmaşık hareketlere kadar değişik seviyelerde

üretim içerisinde yerini alırken yapıları da bu işlevlerine göre farklılaşmaktadır (Arkan, t.y.). Genel olarak endüstriyel robotlar şu bölümlerden oluşmaktadır:

1. Manipülatör

- a. Kartezyen
- b. Silindirik
- c. Küresel
- d. Dönel

2. Uç elemanlar

a. Kavrayıcılar

- i. Mekanik parmak tipi kavrayıcılar,
- ii. Kancalı kavrayıcılar,
- iii. Taşıma platformları,
- iv. Kepçe ve potalar,
- v. Manyetik kavrayıcılar,
- vi. Vakumlu kavrayıcılar,
- vii. Yapışkan parmaklı kavrayıcılar,
- viii. Universal kavrayıcılar.

b. Takım ve aparatlar

c. Algılayıcılar

- i. Görüntü algılayıcıları
- ii. Temas ve yaklaşma algılayıcıları

3. Güç birimleri

- a. Pnömatik
- b. Hidrolik
- c. Elektrik

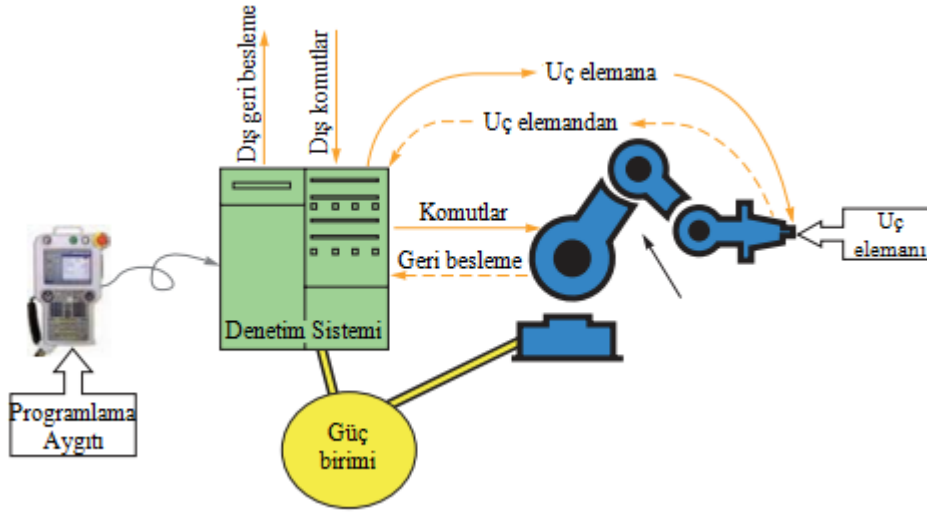
4. Denetim sistemi

- a. Servosuz kontrollü
- b. Servo kontrollü

i. Noktasal ("Point-to-point") denetim

- ii. Eğrisel ("Contouring") veya sürekli yol ("Continuous path") tipi denetim

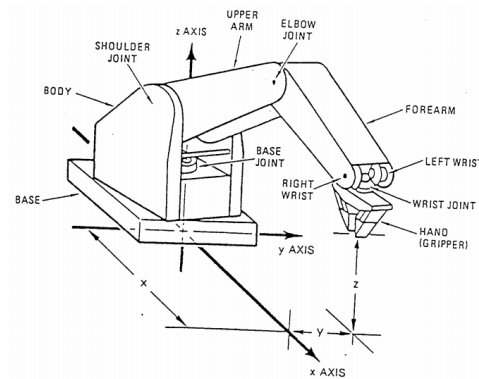
Robotu oluşturan bu ana bileşenler arasındaki ilişki Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Robotun bölümleri arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram (Ross ve diğ, 2011, s. 25).

3.3.1 Manipülâtör

Robotik manipülâtör; çeşitli bağlantı elemanlarının, eklemler ile birbirine bağlanması ile oluşturulan ve insan kolluna benzer bir yapıya sahip zincirdir (Berkay ve diğ, 2003). Manipülâtör, hareket kabiliyeti sayesinde yararlı bir iş yapmak amacıyla malzemeleri, parçaları, kavrayıcıları veya özel ekipmanları hareket ettirmeye yarayan robotun koludur. Manipülâtörler; kontrol metotları, güç kaynakları, eklem hareketleri vb. faktörler ile tanımlanmaktadır. Bu faktörler belirli bir iş için en iyi robot tipinin seçimi sürecinde rol oynamaktadır (Ross ve diğ, 2011, Bölüm 2.1).



Şekil 3.2 : Robot kolunun bileşenleri (Sabharwal, 2009).

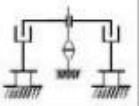
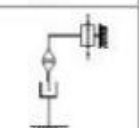
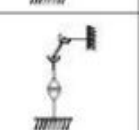
Robotlar, programlanmış yörüngeleri boyunca kol hareketlerini ve eklem pozisyonlarını çeşitli tahrik sistemine göre çalışan hareketlendiricilerini kullanarak yapmaktadırlar. Bu hareketlendiriciler robota iki tip hareket sağlamaktadır: lineer ve döner hareket. Lineer hareketlendiriciler bir doğru boyunca ileri geri hareket sağlayabilirken; döner hareketlendiriciler yay veya dairesel yörüngeli hareket sağlarlar (Ross ve diğ, 2011, s. 28).



Robotların hareket kabiliyetlerini tanımlayan en önemli parametrelerden biri serbestlik derecesidir. Belirli bir konum, 3 hareket serbestliğini oluşturan 3 koordinat tarafından tanımlanmakta olup; son elemanın belirli bir yönelmesi de, ayrı üç koordinat tarafından tanımlanır. Yani son elemanın konumu ve yönelmesi toplamda 6 bağımsız değişken ile tanımlanmaktadır. Bir başka ifade ile bir cismin 3 boyutlu uzayda belirli noktalar arasında, belirli bir yönelme ile hareketi için 3 pozisyon ve 3 yönelme değişkeni gerekmektedir. Bu pozisyon ve yönelme değişkenleri sayısı robotun eklem tiplerine ve sayısına göre değişmekte olup, robot manipülatörünün konfigürasyonunu belirler (Berkay ve diğ., 2003). Robotların konfigürasyonunu ve

kinematik yapılarını içeren mekanik yapılarına Çizelge 3.1’de yer verilmiştir. Robot konfigürasyonlarının detayları robotların sınıflandırılması bölümünde anlatılacaktır.

Çizelge 3.1 : Robotların mekanik yapıları (Berkay ve diğ, 2003).

Robot	Eksenler		Örnek
Genel görünüm	Kinematik yapı	Çalışma uzayı	Resim
 Kartezyen			
 Silindirik			
 Küresel			
 SCARA			
 Mafsallı			
 Paralel			

3.3.2 Uç elemanlar

Uç elemanlar, robotun eli veya kolunun ucunda yer alan ekipmanlardır. Kavrama, taşıma, kaldırma, manevra yapma veya iş parçası üzerinde işlem yapma amacıyla manipülâtörün bileğine eklenen bir araçtır. Yapılacak işin niteliğine göre kavrayıcı, delici, algılayıcı, kaynak torcu vb. değişik uç ekipmanlar robotun koluna bağlanabilmektedir (Ross ve diğ, 2011, s. 29).

Uç elemanlar, robot sisteminin en önemli bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Robotun performansı; robot sisteminin ne kadar iyi sonuç verdiğiyle değerlendirildiğinden, uç elemanın ne kadar iyi görev gereksinimini karşıladığının doğrudan sonucudur. Ayrıca robot uç elemanı, robotun iş sahasını sınırlandırdığından, uç elemanın eriştiği alana çalışma zarfı denmektedir (Ross ve diğ, 2011, s. 30).

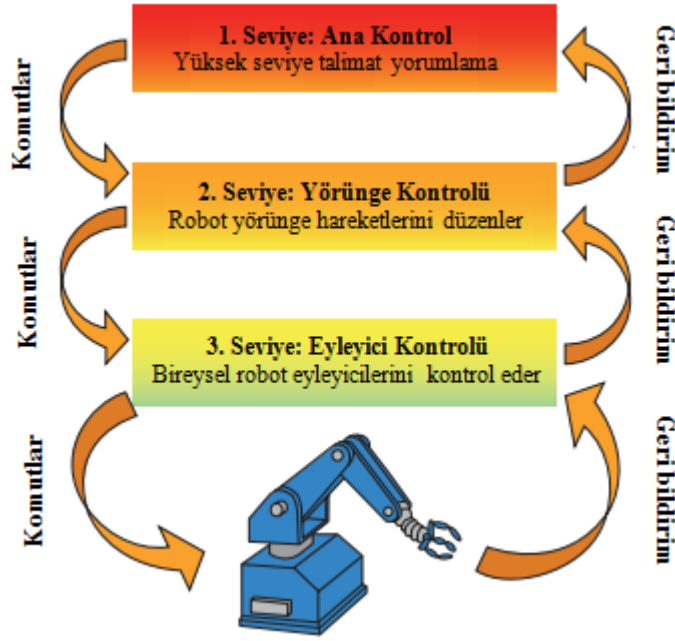
3.3.3 Güç birimleri

Güç kaynağı, denetim birimine ve hareketlendiricilere enerji sağlayan birimdir. Güç birimi, AC voltajı, robotun iç devreleri için gerekli DC voltaja dönüştüren yapı olabileceği gibi; hidrolik veya pnömatik güç sağlayan pompa ya da kompresör olabilir. Elektriksel, hidrolik ve pnömatik olmak üzere 3 temel enerji kaynağı mevcuttur. Endüstriyel robotlarda en çok kullanılan enerji kaynağı elektriktir. Bunu basınçlı hava ve hidrolik güç izlemektedir. Bu birincil enerji kaynakları kullanılan robotun tipine göre gerekli form ve miktarlara dönüştürülmelidir. Kontrol biriminin elektronik parçaları ve elektrik tahrikli *eyleyici* (ing. actuator), elektriksel güç gerektirmektedir. Hidrolik eyleyici içeren robotlar; hidrolik pompa kullanımı nedeniyle elektriksel güç, hidrolik enerji dönüşümünü gerektirir. Pnömatik hareketlendiricili robotlarda elektrik motorlu kompresörün sağladığı basınçlı hava kullanılmaktadır (Ross ve diğ, 2011, s. 30).

3.3.4 Denetleyici

Denetleyici (ing. controller), robotun mekanik sisteminin tüm hareketlerini koordine eden birimdir. Aynı zamanda da sensörleri vasıtasıyla dış çevreden anlık girdileri alan birimdir. Robot denetim biriminin kalbi genellikle girdi/çıkı ve izleme aracı ile bağlantılı mikroişlemcidir. Denetleyici tarafından verilen komutlar; denetçi, yükselteç ve eyleyiciyi içeren kontrol mekanizmasını etkinleştirmektedir. Eyleyici, gücü robot hareketlerine dönüştüren motor ya da valftir. Bu hareket denetim biriminin hafızasında saklanan, program adı verilen, bir dizi komut ile başlamaktadır (Ross ve diğ, 2011, s. 26).

Denetleyicinin üç hiyerarşik kontrol seviyesi vardır.. Her bir seviye altındaki seviyeye kontrol sinyali, üstünde yer alan seviyeye geri bildirim sinyali gönderir. Eyleyiciye ilerledikçe seviyeler daha basit ve temel hale gelmektedir. Talimatlar/komutlar için her seviye bir üstündeki seviyeye bağlıdır. Bu temel üç seviye Şekil 3.4’de gösterilmiştir (Ross ve diğ, 2011, s. 27):



Şekil 3.4 : Üç temel hiyerarşik kontrol seviyesi (Ross ve diğ, 2011, s. 27).

1. Seviye – Eyleyici Kontrolü: Robotun X,Y ve Z eksenlerinin oluşturduğu, çeşitli düzlemler boyunca ayrı hareketlerin kontrol edildiği en temel seviyedir.
2. Seviye – Yörünge Kontrolü: Bu seviye, belirlenen yörünge boyunca 1. seviyedeki ayrı hareketleri koordine etmektedir.
3. Seviye – Ana Kontrol: En yüksek denetim seviyesinin birincil işlevi, gerekli görevi yerine getirmek için programcı tarafından yazılan komutları yorumlamaktır. Bu komutlar, çeşitli çevresel sinyaller ile birleştirilir ve denetleyici tarafından 2. seviyenin anlayacağı daha temel komutlara dönüştürülür.

3.4 Robot Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar

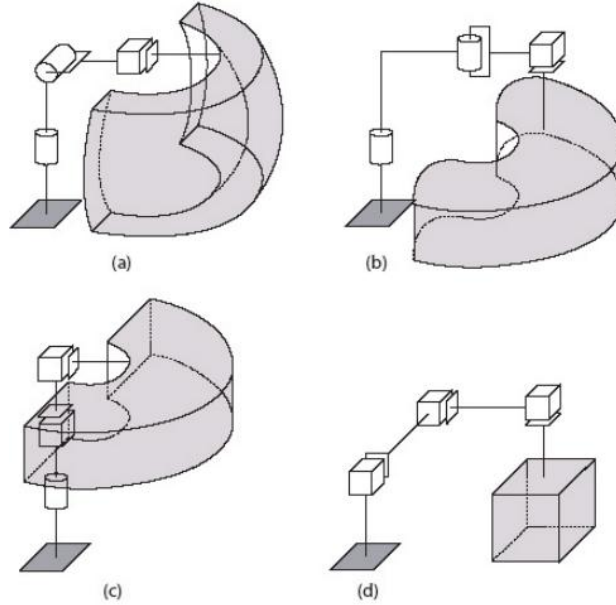
Endüstriyel uygulamalarda robotlar, genellikle büyük bir sistemin elemanı konumundadır. Bu sebeple bu sistemde robotla birlikte yer alacak alt sistemlerin parametreleri, sistemin sağlaması gereken şartlar ve gerekli bileşenlerin saptanması gereklidir (Gök ve Afyon, 1999). Bu sebeple robot seçimi ya da tasarımı yapılırken, robot parametreleri ile birlikte robotla etkileşim içerisinde bulunan alt sistem bileşenlerinin de parametreleri düşünülerek sistemin toplam performansı ve hedef göz önünde bulundurulmalıdır.

Robot sistemi seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

Eksen sayısı ve serbestlik derecesi: Robotun uzayda konumlanma kabiliyetinin ölçüsüdür. Genellikle serbestlik derecesi, eksen sayısı ile aynı sayıdadır. Bu yüzden robot imalatçıları tarafından tek parametre olarak alınmaktadır.

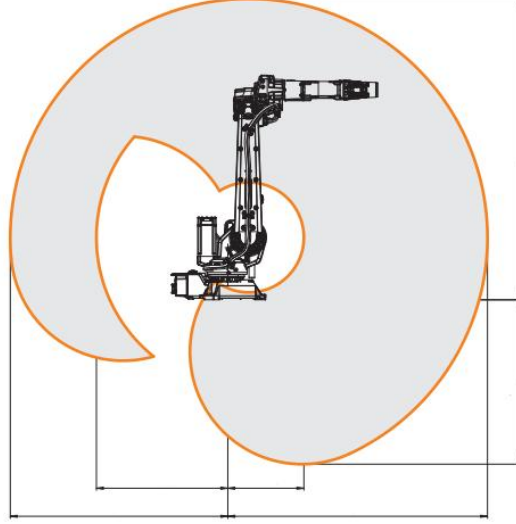
Bir düzlemde herhangi bir noktaya erişmek için iki eksene; uzayda herhangi bir noktaya ulaşmak için üç eksene ihtiyaç vardır. Robotun serbestlik derecesinin tayini robot kolunun yörünge ve konumlandırılması istenilen pozisyonlar dikkate alınarak yapılmaktadır. Robot ucunun uzayda istenilen pozisyonda konumlanması için gerekli eksen sayısı ve istenilen yönde konumlanması için gerekli eksen sayısının toplamı eksen sayısını vermektedir (Berkay ve diğ, 2003).

Çalışma hacmi: Robotun ulaşabileceği ve her türlü duruş ve konumu sağlayabileceği uzaysal hacim ifade etmektedir (Ersöz, 2007). Robotun işlem gerçekleştirebildiği boyutu ifade eden bu terim yerine çalışma zarfı, çalışma alanı, hareket alanı gibi terimler ile de robotun hareket sahası tanımlanabilmektedir. Çalışma zarfı robot imalatçıları tarafından her bir eksen için erişilebilen uzaklık ölçüsü veya erişilebilen uzaklık cinsinden kullanıcıya sunulmaktadır. Farklı konfigürasyonlara sahip robotların çalışma zarfları Şekil 3.5'te sunulmuştur. Ayrıca Şekil 3.6'da bir robot firmasına ait robot kolunun çeşitli eksenlerdeki erişim mesafesi gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Farklı konfigürasyonlara sahip robotların çalışma zarfları: (a) küresel, (b) scara, (c) silindirik, (d) kartezyen konfigürasyon.

Yapılacak işin niteliğine göre çalışma alanı tespit edilmeli ve yapılacak işe en uygun robot seçilmelidir. Çünkü robot uzuv boyutlarının artması ataleti, gerekli motor gücü, enerji tüketim miktarı ve robot fiyatının artması sonucunu doğurmaktadır. Gerekli çalışma alanı, konumlandırıcılar ile de artırılabilceği için dikkat edilmesi gereken durum robot kollarının uzunluğundan ziyade işlevselliğidir (Ersöz, 2007).



Şekil 3.6 : ABB firmasına ait bir robotun çalışma zarfı.

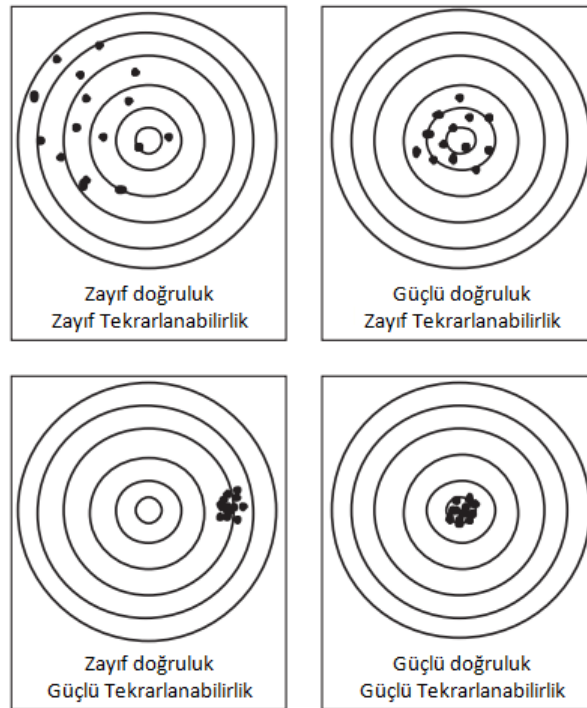
Doğruluk: Robotun üç boyutlu uzayda amaçlanan pozisyona doğru olarak ulaşma yeteneği olarak ifade edilmektedir (Shiakolas ve diğ, 2002). Aynı bir ifade ile robotun konumlanması istenilen noktaya ne kadar yaklaşabildiğidir ve genellikle mm, inç gibi uzunluk birimleri ile ifade edilmektedir.

Robot doğruluğunu etkileyen en önemli unsur robot bağlantılarıdır. Bu bağlantı elemanlarının imalatı sırasında, ister istemez robottan robota boyutlarda bazı sapmalar ortaya çıkmaktadır. Bu sapmalar aynı zamanda eklemlerde de olabilmektedir. Bu sapmalar imalat toleransı olarak nitelendirilmektedir. Robot denetçisi tarafından tanımlanan, eklemin sıfır pozisyonu ile eklemin gerçek pozisyonu arasındaki farklılık da robotun doğruluğunu etkileyen ikinci önemli unsurdur. Her robot denetleyicisindeki matematiksel model, bir robot bağlantılarının uzunluklarını aynı tür ve model diğer bir robotunki ile aynı kabul etmektedir. Bununla birlikte, aynı model bir robotun eklemlerinin görelî yönelimlerini aynı tür diğer bir robotunki ile aynı kabul eder. Fakat imalat ve montaj değişimleri nedeniyle gerçekte bu kabul doğru değildir. Bu nedenle denetçi, robot uç noktasını verilen eklemler açısı ile ölçüldüğü için yanlış ölçüm yapar (Shiakolas ve diğ, 2002).

Bu gibi ana sebeplerle birlikte doğruluk; robotun hızı, çalışma alanındaki yeri ve yükü gibi parametrelerden etkilenmekte ve değişmektedir. Doğruluk, kalibrasyon çalışmaları ile iyileştirilebilir (Koca ve diğ, 2009).

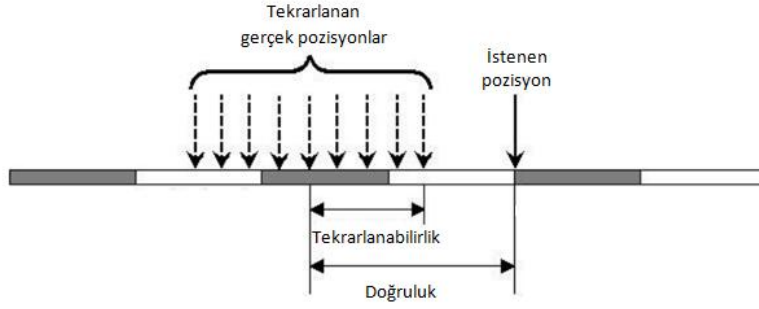
Tekrarlanabilirlik: Robotun öğrenilen bir noktaya göre tekrarlanan hareketlerinin sonucunda, robot uç noktası ile öğretilen nokta arasında oluşabilecek maksimum hata miktarıdır. Tekrarlanabilirlik değeri uygulamaya göre farklılık göstermekte olup, genel amaçlı robotlarda tekrarlanabilirlik değerinin 0,1 mm ila 0,2 mm olması istenmektedir. Özel uygulamalarda bu değerin daha dar aralıkta olması istenir. Örneğin; ark kaynağı uygulamasında bu değerinin kaynakta kullanılacak tel çapının yarısından küçük olması istenir (Ersöz, 2007). Robotlar için pozisyon ve yörünge tekrarlanabilirliği olmak üzere iki tür ölçüt kullanılmaktadır.

Çok karıştırılan iki kavram olan tekrarlanabilirlik ve doğruluk arasındaki fark Şekil 3.7 ve Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Doğruluk ve tekrarlanabilirliğin farkı (Shiakolas ve diğ, 2002).

Robotun tekrarlanabilirliğinin iyileştirilmesi, yüksek kaliteli dahili sensörler, karmaşık denetleyiciler ve dikkatle dizayn edilen motorlarla; akışkan tahrikli robotlar için ise valflerle ilgilidir (Yenitepe, 1992).



Şekil 3.8 : Doğruluk ve tekrarlanabilirlik (Koren, 1985, s. 45).

Taşıma kapasitesi: Maksimum ve nominal yük taşıma kapasiteleri ile robotların yük taşıma kabiliyetleri nitelendirilmektedir. *Maksimum yük taşıma kapasitesi*, robotun minimum hızında tekrarlanabilirlik değerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük değeridir. *Nominal yük taşıma kapasitesi* de robotun maksimum hızda tekrarlanabilirlik değerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük miktarıdır. Bu yük taşıma kapasitesi değerleri taşınan malzemenin boyutu ve şekline bağlıdır (Ersöz, 2007).

Çalışma hızı: Çalışma hızı; kol, bilek, mandal (gripper) ya da robotun diğer parçalarının hızının değeridir. Lineer hareketler mm/s cinsinden doğrusal hız olarak, dönel hareketler ise derece/s cinsinden açısal hız olarak dikkate alınır (Ersöz, 2007; Koca ve diğ., 2009). Robotlar için hız aralıklarını Koca ve diğ. (2009) şu şekilde düşünülebileceğini belirtmişlerdir:

Düşük Hız: 300 mm/s'den veya 60 derece/s'den daha küçük.

Orta Hız: 300-1500 mm/s veya 60-180 derece/s.

Yüksek Hız: 1500 mm/s'den veya 360 derece/s'den daha büyük.

Sistemin kurulacağı çevre şartları: Robotun çalışacağı ortamın şartları göz önünde bulundurulmalıdır. Ortamın sıcak, nemli veya tozlu olup olmadığı, robot kollarının serbest hareket edip edemediği, diğer ekipmanlar ve araçlar tarafından hareket alanının sınırlandırılıp sınırlandırılmadığı belirlenmelidir (Ersöz, 2007).

IP Koruma sınıfları: IP koruma sınıfları Avrupa Elektro-Teknik Standartlar Komitesi (CENELEC) tarafından muhafazalı elektrik ürünlerinin çevresel şartlara olan dayanıklılığını standartlaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu koruma sınıfları, katı cisimlere ve malzemeye, sıvılara ve mekanik etkilere karşı olan dayanıklılığı içermektedir. Robot kolunun dayanıklılığı için bu parametre dikkate alınmaktadır.

Genel olarak robot kolu seçiminde bu ölçütler göz önünde bulundurulmakla birlikte, bunların dışına uygulamaya göre dikkate alınan ölçütler de mevcuttur (Bhangale ve diğ, 2004).

3.5 Robotların Sınıflandırılması

Robot teknolojisi uygulamaları günümüz şartlarında geniş bir uygulama sahasına sahiptir. Bu uygulama konuları kapsamında yapılabilecek her tür sınıflandırmanın bazı konuları sınıflandırma dışında bırakması kaçınılmazdır. Endüstriyel robotlar, literatürde çalışma zarf geometrileri (manipülatör ve eklem yapıları), hareket kontrol metodu (denetim), tahrik sistemi gibi faktörler dikkate alınarak çok farklı sınıflandırılmaları yapılmaktadır.

3.5.1 Tahrik sistemine göre sınıflandırma

Robot kolları robot eklemlerinin hareketi için kullanılan güç kaynağına göre sınıflandırılabilir ve bu robot kolları da kullanılan tahrik sistemine göre isimlendirilmektedir. Endüstriyel robotların hareketini sağlamak için elektrik, hidrolik, pnömatik olmak üzere 3 farklı tahrik (sürüş) sistemi kullanılmaktadır (Berkay ve diğ, 2003).

Hidrolik tahrik sistemi, robota daha fazla güç ve hız sağladığı için genel olarak büyük robotlar için kullanılır. Ekonomik açıdan, elektrik motorlarının maliyetleri boyutları ile doğru orantılı artarken, hidrolik tahrik sistemlerinin maliyeti boyutlarından çok fazla etkilenmemesi bu sistemin avantajlarından biridir. Bunun yanında, kapladığı hacmin büyük olması, rahatsız edici yağ kaçaqları ve kontrol zorluğu bu sistemin dezavantajları olarak göze çarpmaktadır (Berkay ve diğ, 2003).

Robot sistemlerinde en çok kullanılan tahrik sistemi olan *elektrik motorlarının*; kontrolünün kolaylığı ve hassasiyetinin yüksek olması tercih sebepleri arasındadır. Bu sistemin dezavantajı ise ağır yükler ve yüksek tork gerektiren uygulamalarda sistem maliyeti ile kapladığı hacmin artması ve kontrolünün giderek güçleşmesidir (Berkay ve diğ, 2003).

Pnömatik tahrik sistemleri ise genellikle serbestlik derecesinin düşük olduğu küçük robotlarda ve hızlı çevrime ihtiyaç duyan sistemlerde kullanılmaktadır. Serbestlik derecesi düşük olan robotlarda kullanıldığından diğer tahrik sistemlerine oranla

kontrolü kolaydır. Ayrıca bu sistemler genellikle basınçlı hava sistemine sahip olan sanayi kuruluşlarında tercih edildiğinden sanayi kuruluşunun hazır sistemi sayesinde kurulum kolaylığı sağlar (Berkay ve diğ, 2003).

3.5.2 Hareket kontrol metoduna göre sınıflandırma

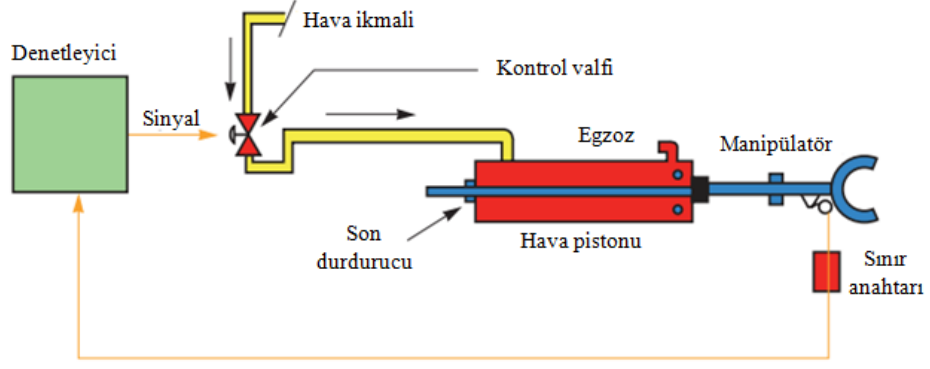
Endüstriyel robotları sınıflandırma kriterlerinden bir diğeri, takım veya uç elemanın hareketini kontrol için kullanılan metottur. Endüstri robotlarını, kontrol metotlarına göre tanımlanmış olan servo kontrollü veya servosuz kontrollü robotlar olmak üzere iki sınıfa ayırmak mümkündür. Her iki tür kontrol metodunun farklı özellikleri mevcut olup hareket elemanlarına göndermek için kullandıkları sinyaller farklıdır (Yenitepe, 1992).

Denetim açısından en basit robot sistemi olan servosuz kontrolü robotlar, akıllı olmayan robotlardır. Diğeri bir robot türü ise servo kontrollü robotlar olup, akıllı ya da daha akıllı olarak sınıflandırılmaktadır. Akıllı ile daha akıllı robotlar arasındaki temel fark, çevreye olan duyarlılık seviyeleridir (Ross ve diğ, 2011, s. 36).

3.5.2.1 Servosuz robotlar

Servosuz kontrollü robotlar en basit robotlar olup, “sınırlı sıralamalı”, “alıp yerleştirme” veya “sabit duran” robotlar olarak da isimlendirilmektedir. Servosuz robotlar, gerçek pozisyon ile programlanan pozisyonun karşılaştırılıp geri bildirim mekanizmasının olmadığı kontrol yapısına sahip, açık döngülü sistemlerdir (Ross ve diğ, 2011, s. 36).

Servosuz robotların hareketleri sınırlandırılmıştır ve bu sınırlandırma genellikle mekanik durdurma biçiminde olmaktadır. Şekil 3.9’da servosuz robotun çalışma mekanizması gösterilmiştir. Servosuz motorlarda hareketler, etkin olduğunda denetleyiciye sinyal gönderen sınır anahtarları gibi araçlar ile düzenlenmektedir. Robotun bu yapıda olması onu malzeme taşıma gibi tekrarlanan süreçler için mükemmel kılar. Bu robot tiplerinin, Amerikan Robot Enstitüsünün tanımı baz alınarak, robot olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmayacağı tartışma konusu olabilir. Fakat bu robot tipi, programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC) ile donatılmış olması durumunda tekrar programlanabilir bir araç olması itibari ile robot olarak sınıflandırılabilceği belirtilmiştir (Ross ve diğ, 2011, s. 38).



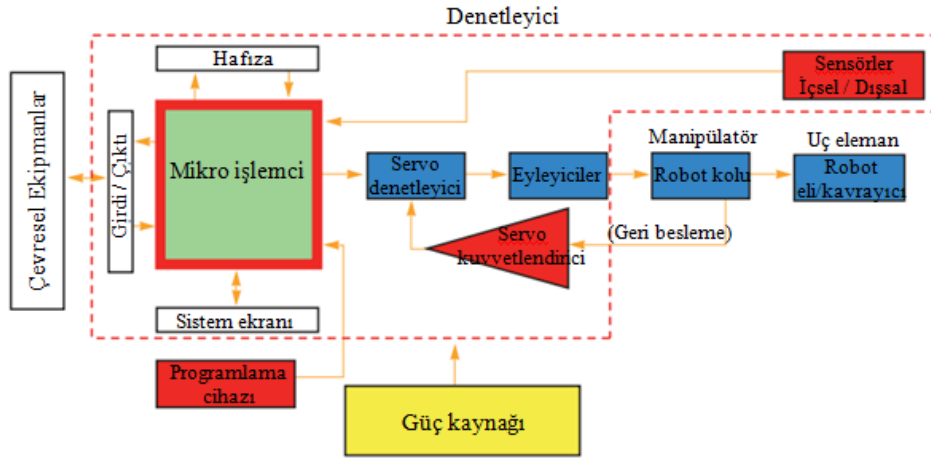
Şekil 3.9 : Bir servosuz motorun yapısı (Ross ve diğ., 2011, s. 38).

Servosuz robotların başlıca karakteristikleri şunlardır (Ross ve diğ., 2011, s. 38):

- Ucuz maliyet,
- Anlaması ve çalıştırması kolay,
- Hassas ve güvenilir,
- Muhafaza etmesi basit,
- Yüksek operasyon hızına sahip,
- Boyutları küçük,
- Göreceli olarak basit programlarla sınırlandırılmış.

3.5.2.2 Servolu robotlar

Bu robot tipi, geri bildirim imkan sağladığı için kapalı döngülü sistemdir. Kapalı döngülü sistemlerde, geri bildirim sinyali sistemin çıktısını etkileyen servo kuvvetlendiriciye gönderilir. Bir servo kuvvetlendirici, sinyalleri kontrolörden motor voltaj ya da akım sinyaline dönüştürür. Hassas pozisyon ve hız kontrolünün gerekli olduğu durumlarda hareket kontrol sisteminde servo kuvvetlendirici kullanılır. Bir bakıma, servo mekanizması hataları denetleyen ve düzelten kontrol sistemi türüdür (Ross ve diğ., 2011, s. 39). Şekil 3.10’de servo motorun yapısı tasvir edilmiştir. Bu sistem yardımıyla eksenin hız ve ivme kontrolü, sarsıntısız ve devamlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir (Yenitepe, 1992).



Şekil 3.10 : Bir servo motorun yapısı (Ross ve diğ., 2011, s. 39).

Servo mekanizmalı robotlarda her eksenin durma noktaları, donanımsal durdurucu (ing. hardware stop) adı verilen mekanizmalar yerine yazılımsal durdurucular (ing. software stoplar) ile tespit edilmektedir. Ayrıca servosuz kontrollü robotlar, donanımsal durdurucular ile sınırlandırıldıkları için hafızalarında bir tek program saklayabilirken, servo kontrollü robotlar hafızalarında birden çok program saklayabilmekte ve istenildiğinde çalışabilmektedir (Yenitepe, 1992).

Servo robotların başlıca karakteristikleri şunlardır (Ross ve diğ., 2011, s. 39):

- Göreceli olarak satın alma, operasyonel ve bakım maliyeti yüksek,
- Karmaşık, kapalı döngülü denetleyici kullanımı,
- Geniş yeteneklere sahip,
- Bir nesnenin bir noktadan diğerine taşınma işlemini sürekli ve kontrollü yörünge boyunca yapabilme,
- Çok karmaşık programlamaya yanıt verebilme,
- Çalışma zarfı içerisinde engellerden sakınmak için programlanabilen manipülör kolunu yönetebilme.

Servo kontrollü robotlar, noktadan noktaya (point to point) ve sürekli yörünge (continuous path) kontrollü robotlar olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır (Yenitepe, 1992):

Noktadan noktaya hareket; robot kolunun çalışma alanında ayırık noktalar dizisi şeklindeki harekettir. Bu hareket sırasında noktalar arası yörünge kullanıcı tarafından kontrol edilememektedir. Nokta kaynak, seç ve yerleştir, yükleme ve boşaltma gibi rotanın önemli olmadığı uygulamalarda tercih edilir.

Sürekli rota hareketi; robot kolunun uç elemanın üç boyutlu uzayda belirlenen yörüngeyi takip etmesi ve yol boyunca hareket hızının değiştirmesinin sağlanması için kontrol işleminin gerekli olduğu hareket tipidir. Boya püskürtme, ark kaynak, tutkal ve bantlama uygulamalarında sürekli rota hareket kontrollü robotlara ihtiyaç olmaktadır.

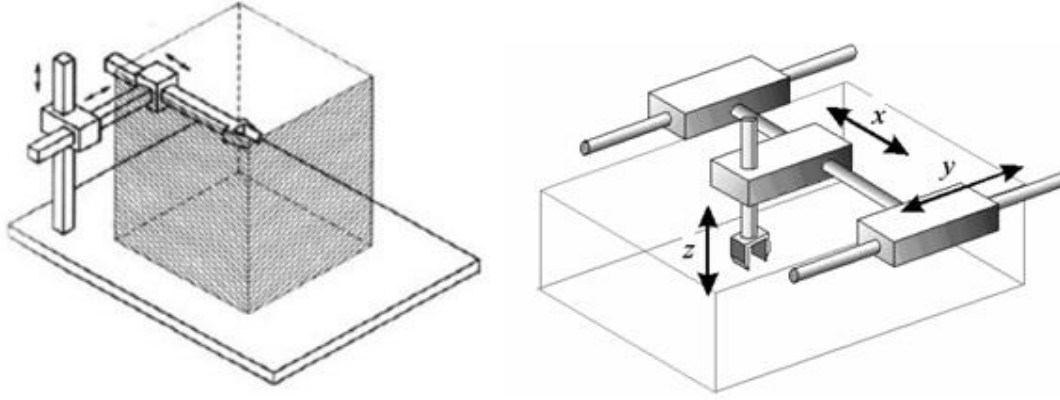
3.5.3 Çalışma – zarf geometrisine göre sınıflandırma

Koordinat sisteminin tipi, eklemlerin dizilişi ve manipülatör parçalarının uzunluğu robotun çalışma zarfı geometrisini belirleyen etmenlerdir. Genellikle çalışma zarfları geometrik bir şekle sahip olup, konfigürasyon adı verilen oluşturdukları şekil ile ifade edilir. Bazı çalışma zarfları ise düzensizdir. Bazı robotlar, uygulamaya özel olarak birden fazla konfigürasyonla donatılabilir (Ross ve diğ, 2011, Bölüm 2.3). Literatürde, robotlar çalışma-zarf geometrilerine göre farklı sayıda sınıflandırılabilir. Bu farklılık, bazı konfigürasyonun diğerini kapsamasından ya da özel olarak adlandırılmasından ileri gelmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel robotlar şu konfigürasyonlarda sınıflandırılmaktadır:

- Kartezyen koordinat konfigürasyonu
- Silindirik koordinat konfigürasyonu
- Küresel (polar coordinate) konfigürasyonu
- Mafsallı kol (jointed arm) konfigürasyonu

3.5.3.1 Kartezyen konfigürasyon

Kartezyen konfigürasyon yapısına sahip robotlar en kısıtlı hareket serbestisine sahip robotlardır. Birbirine dik olan X,Y,Z eksenleri boyunca doğrusal hareket etme yeteneğine sahiptir. Robot, üç boyutlu dikdörtgen prizması hacmi içindeki noktalara kolunu hareket ettirebilir (Ersöz, 2007). Şekil 3.11 'de kartezyen konfigürasyonlu robotun çalışma zarfına yer verilmiştir. Üç kayan eklem sayesinde robot bileğinin yukarı-aşağı, içeri-dışarı ve ileri-geri hareketleri sağlanır.



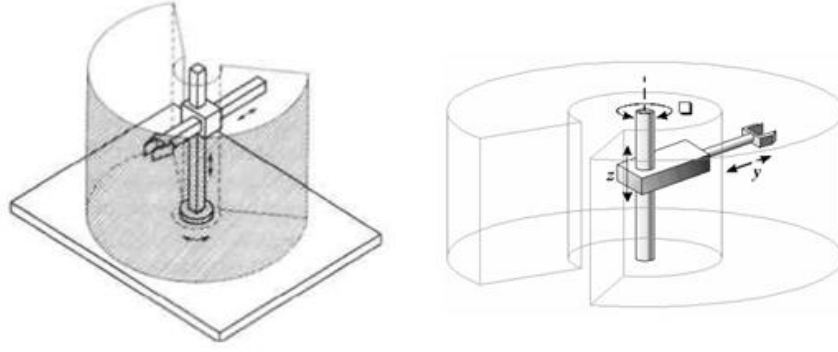
Şekil 3.11 : Kartezyen konfigürasyon yapısına sahip robot kolunun çalışma zarfı (Çengelci ve Çimen, 2005; Ersöz, 2007).

Kartezyen konfigürasyonlu robotlar, hareket kabiliyeti tamamen doğrusal olduğu için basit yapıya sahiptir. Bu tür robotlarda pozisyon hesaplamaları; robot uç elemanının bulunduğu pozisyon, mafsalların o anda olduğu yerde bulunduğundan hareket planlaması ve kontrolü kolaydır. Bununla birlikte bu robotlar yüksek derecede doğruluk ve tekrarlanabilirlik yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte; yüksek çalışma kapasitesine sahip olup, çalışma zarfı içerisindeki farklı noktalarda ağırlık taşıma kapasiteleri değişmemektedir. Genellikle insan gücünü aşan yüklerin taşınmasında yararlanır. Islak, nemli, rutubetli çalışma ortamlarında kullanılabilir (Ersöz, 2007; Ross ve diğ., 2011, s. 51).

3.5.3.2 Silindirik konfigürasyon

Silindirik konfigürasyon yapısına sahip robot kollar Şekil 3.12’de görüldüğü üzere kendi etrafında dönebilen bir mafsal ve bunun üzerinde bulunan Y,Z düzleminde doğrusal hareket edebilen kollardan oluşmaktadır. Robot kolun çalışma zarfı silindirik koordinat sisteminde hareket eden kolların uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir (Çengelci ve Çimen, 2005).

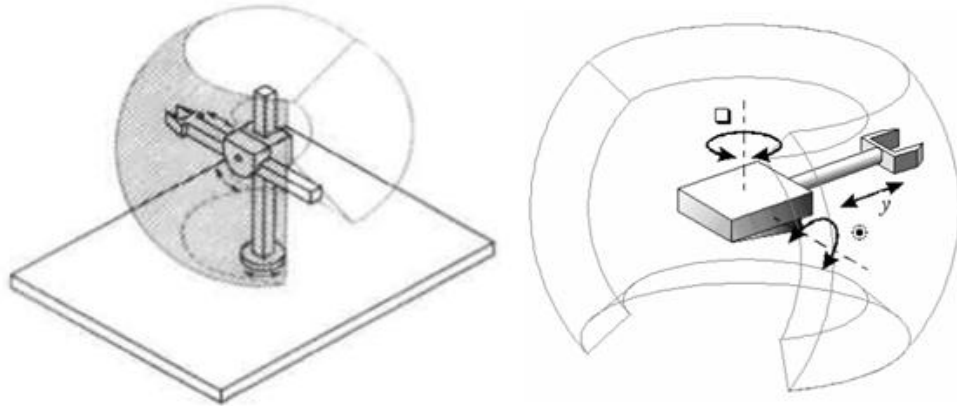
Kartezyen konfigürasyonlu robot kola göre hareket serbestisi daha geniştir, fakat daha karmaşık kontrol sistemine ihtiyaç duymaktadır. Kullanım alanı ve yük taşıma kapasitesine göre tahrik sistemi hidrolik, pnömatik veya elektrik olabilmektedir. Nesneleri bir yerden başka bir yere (al ve yerleştir şeklinde) taşıma işleminde yaygın olarak kullanılır.



Şekil 3.12 : Silindirik konfigürasyon yapısına sahip robot kolunun çalışma zarfı (Çengelci ve Çimen, 2005; Ersöz, 2007).

3.5.3.3 Küresel (polar) konfigürasyon

Polar ve spiral konfigürasyonlu olarak da adlandırılan robot kolu bel, omuz ve dirsek mafsallarından oluşan bir yapıya sahiptir. Bel ve omuz mafsallı robot kolunun kendi etrafında dönme hareketi sağlarken, dirsek mafsallı da kola uzama ve kısalma hareketi sağlar. Şekil 3.13’de bu robot kolunun çalışma zarfı gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Küresel konfigürasyon yapısına sahip robot kolunun çalışma zarfı (Çengelci ve Çimen, 2005; Ersöz, 2007).

Çalışma hacmi büyüklüğü robot kollarının büyüklüğüne bağlı olup, küresel bir hareket sahasına sahiptir. Çalışma şeklinin zihinde canlandırılmasının zorluğundan dolayı programlama ve kontrolü zordur. Kinematik yapıları da kartezyen ve silindirik robot kollara göre daha karmaşıktır. Dikey hareket sınırlı olduğu için, presin yüklenmesi ve boşaltılması gibi yükseğe erişimin az olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir. Yapısı gereği ağırlık kaldırma yeteneği gelişmiştir (Çengelci ve Çimen, 2005; Ersöz, 2007).

Hidrolik tahrikli küresel robot kollar genellikle eğme, bükme işlerinde, kameralı izleme işlerinde tercih edilmektedir. Bunun yanında sarkaç robot olarak da, küçük moment hareketleri ile hareket yeteneğine sahip olmalarından dolayı kaynak ve zamlama işlemlerinde kullanılırlar (Çengelci ve Çimen, 2005; Ersöz, 2007).

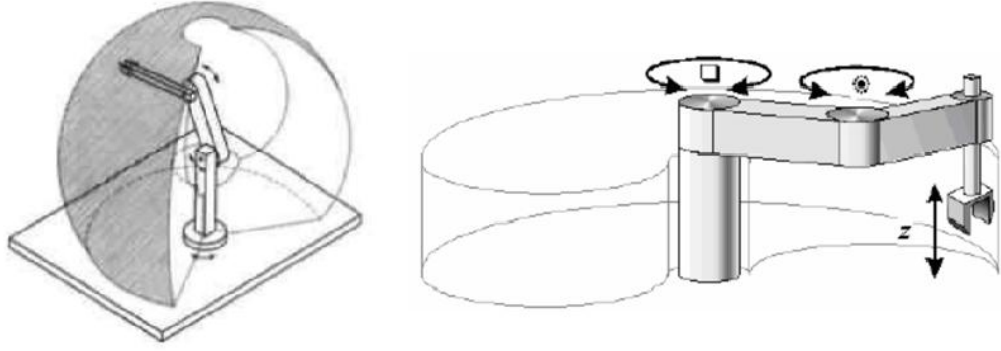
3.5.3.4 Mafsallı (eklemlı) kol konfigürasyonu

Mafsallı-koordinatlı robot kolu, en antropomorfik yapıda olan, yani insan kolunun anatomisine en yakın robot kolu tipidir. Bu konfigürasyona sahip robotlarda insan kolunun hareketlerine benzer şekilde hareket sağlamak için hareketli parçalar mafsallar ile birleştirilmiştir. Üç temel eksenin tümünde döner eklemler kullanılmıştır (Ersöz, 2007; Ross ve diğ, 2011, s. 47).

Mafsallı-koordinatlı robot kolları, hareket esnekliği en fazla olan robot tipidir. Döner eklemleri ve her kolda bulunan mafsalların ayrı ayrı kontrol edilebildiği servo motorlar sayesinde gelişmiş düzeyde hareket kabiliyetine sahiptir. Bu yapısı sayesinde çalışma alanı içerisinde tanımlanan bir noktaya en kısa yoldan ve kısa zamanda ulaşım imkânı sağlamaktadır. Robotun hedef pozisyonlara erişimi mafsallı hareketi veya X,Y,Z, koordinatlarındaki doğrusal hareketi ile gerçekleşir. Her mafsallı, program içerisinde sınırlandırılmış alan içerisinde hareket etmekte olup; bu da çalışma alanı içerisinde bulunan diğer parçalara çarparak zarar vermesini önlemektedir. Diğer robot türlerine göre kontrolü ve programlaması karmaşıktır (Çengelci ve Çimen, 2005; Ersöz, 2007).

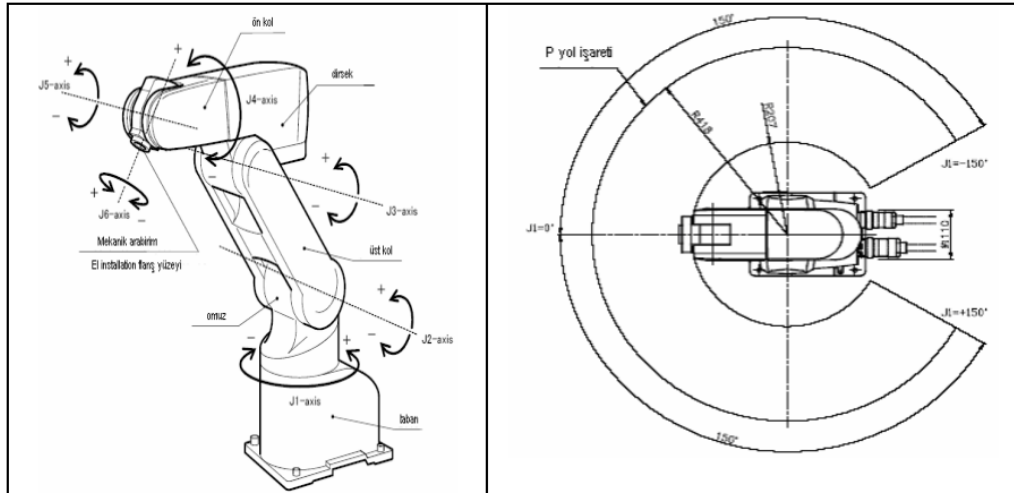
Belirsiz çalışma zarfına sahip olan bu robot kollarının iki temel mafsallı kol konfigürasyonu vardır: dikey mafsallı, yatay mafsallı. Şekil 3.14’de dikey ve yatay mafsallı robotları gösterilmiştir. Dikey mafsallı robotlar yüksek erişime olanak sağladığı için boyama ve kaynak uygulamalarında tercih edilmektedir. Yatay mafsallı robotlar ise dikey doğrultudan ziyade yatayda erişimin önemli olduğu uygulamalarda yararlanılmaktadır. Bir doğrusal, iki döner eklemden oluşan SCARA robot, yatay mafsallı robotun özelleşmiş biçimi olarak sınıflandırılabilir (Ross ve diğ, 2011, s. 47).

SCARA tipi robotların esnek hareket imkanı, hız ve konum performansının çok iyi olması sayesinde en çok elektronik sanayinde, elektronik kartlara malzemelerin montajını gibi hassas işlemlerde kullanılmaktadır (Çengelci ve Çimen, 2005).



Şekil 3.14: Mafsal konfigürasyonlu robot kolunun çalışma zarfı (Çengelci ve Çimen, 2005; Ersöz, 2007).

Döner eklemleri sayesinde eklemlili robotlar kartezyen, silindirik, küresel konfigürasyonlu robotlara nazaran daha geniş çalışma zarfına ve esnek erişime sahiptir. Buna karşılık daha karmaşık kontrol ve programlama yapısına sahiptirler. Ayrıca çalışma zarfı içerisinde farklı noktalar doğruluk, taşıma kapasitesi, dinamik ve tekrarlanabilirlik gibi ölçütleri etkileyebilir (Ross ve diğ, 2011, Bölüm 2.3). Şekil 3.15'te mafsal konfigürasyona sahip robot kolunun eksen ve çalışma zarfı gösterilmiştir.

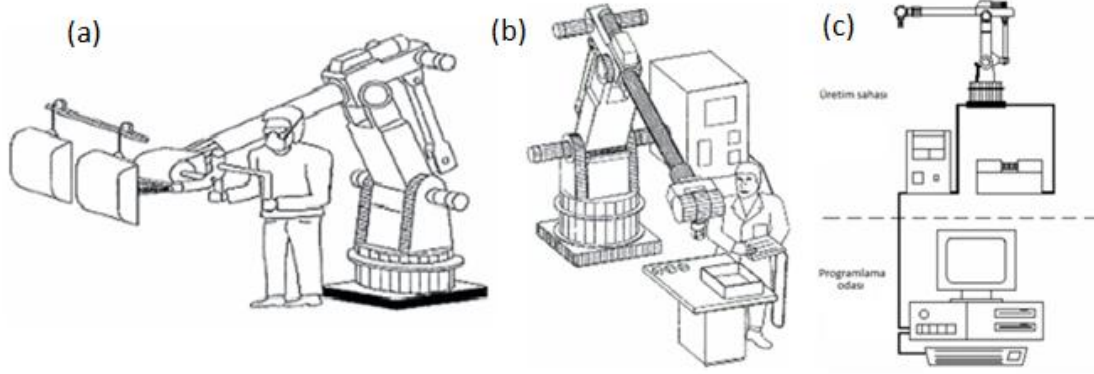


Şekil 3.15: Mafsal konfigürasyonlu robot kolunun eksen ve çalışma zarfı (Çengelci ve Çimen, 2005).

3.6 Endüstriyel Robotların Programlanması

Bir program; hız, erteleme zamanı, girdi cihazı, aktive edilecek çıktı cihazı gibi verilerle birlikte gerçekleştirilecek pozisyon veya fonksiyonu tayin eden komut adımlarını içerir. Robot programı kurulurken, robotlar ile diğer ekipmanlar ya da robot tarafından gerçekleştirilecek iş arasında fiziksel ya da geometrik ilişkilerin

kurulması zorunludur. Çalışma zarfı içerisindeki koordinat noktaları arasındaki hareketin gerçekleşmesi için robotun elle kontrolü veya fiziksel olarak koordinat noktalarının öğretilmesini gerektirir. Robotun değişik işleri yapabilmesi için üç farklı şekilde programlanması mümkündür. Şekil 3.16'da robot programlama yöntemleri gösterilmiştir (OSHA, 1999):



Şekil 3.16: Programlama yöntemleri: (a) gezdirerek programlama, (b) yol göstererek programlama, (c) programlama dilleriyle programlama (OSHA, 1999).

3.6.1 Gezdirerek programlama

Bu programlama yönteminde; kalifiye bir çalışan tarafından robot kolu fiziksel temasla kontrol edilerek, çalışma zarfı içerisinde istenilen pozisyonlara hareket ettirir. Bu işlem esnasında robot denetleyicisi sabit zaman dilimleriyle koordinat değerlerini taramakta ve depolamaktadır. Robot, otomatik işlem seçeneğine alındığında bu değerler ile diğer fonksiyonel bilgiler tekrarlanmakta ve program öğretildiği gibi çalışmaktadır. Bu programlama tipinde, operasyonel güvenlik cihazları devre dışı veya işlevsiz olmasından dolayı çalışan için potansiyel tehlike yaratabilmektedir.

3.6.2 Yol göstererek programlama

Bu programlama yönteminde; programcı personel, öğretme aracının düğme veya anahtarlarını kullanarak istenilen komut dizisi sayesinde robotun yönlendirilmesini bu öğrenme aracı ile fiziksel olarak yapmaktadır. Pozisyon verileri ve fonksiyonel bilgiler robota bu yol ile öğretilmiş olunur ve robot hafızasındaki komutları uygulayarak işlem yapar. Öğretme aracı, programlama için tek kaynak olacağı gibi ek program konsolları ile ya da robot denetçileri ile birlikte de kullanılabilir. Bu programlama ya da öğretme tekniğini kullanırken programcı, operasyonel güvenlik cihazlarının devre dışı olduğu çalışma zarfı içerisinde çalışır.

3.6.3 Programlama dilleri ile programlama

İstenen işlevsel ve konumsal adımları oluşturan program, uzaktan bilgisayar konsolu ile yazılmaktadır. Robot ve denetleyici uzakta olduğu için, yazılı program ve gerçek koordinat bilgilerinin başarılması için hassas konumsal veriler robot denetleyiciye aktarılmaktadır. Program robot denetleticiye tamamıyla aktarıldıktan sonra, robotun eksenlerine ait gerçek konumsal bilgileri elde etmek için diğer öğretim teknikleri de kullanılabilir.

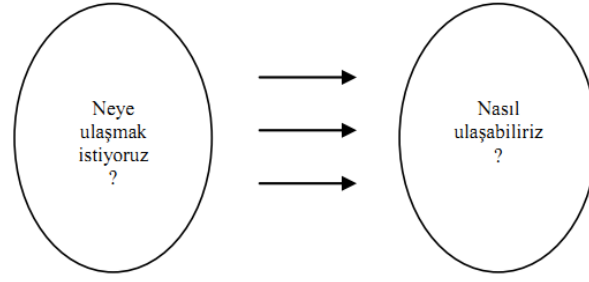
4. AKSİYOMLARLA TASARIM

4.1 Aksiyomlarla Tasarımın Tanımı

Aksiyomlarla Tasarım, tasarım sürecini bilimsel bir çerçeveye oturtmak, tasarımcıya mantıksal ve rasyonel düşünce süreçlere ve araçlara dayalı teorik bir temel sağlayarak tasarım aktivitelerini geliştirmek amacıyla Suh (1990) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Ürün tasarımı, yazılım tasarımı, malzeme tasarımı, sistem tasarımı, imalat sistemi ve süreci tasarımı, karar verme gibi konularda bu yöntemden yararlanılabilmektedir (Bölüm 1).

Sanayi devrimi ile birlikte, bilim ve teknoloji giderek artan bir ivme ile yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Bu başarılarla rağmen, başarısız tasarımların sonucu olarak teknolojik ve sosyal problemlerle karşılaşılabilir. Bu sebeple tasarım sürecinin bilimsel bir temel üzerinde inşa edilmesi, tasarımın uygunluğu açısından faydalı olacaktır. Tasarım, Suh (2001) tarafından “neyi başarmak istiyoruz?” ile “nasıl gerçekleştirebiliriz?” arasındaki etkileşim olarak tanımlanmıştır. Bu etkileşim Şekil 4.1.’de gösterilmiştir. Tasarım aktivitelerinin içerikleri ve hedefleri farklı olabilmekle birlikte, genel olarak bu aktivitelerde ortak olan ve tasarımcının izlemesi gereken süreç şu adımlardan oluşmaktadır (s. 3):

1. Müşteri ihtiyaçlarını bilmek ve anlamak,
2. İhtiyaçların çözümü için problemi tanımlamak,
3. Sentez yoluyla çözümü kavramsallaştırmak,
4. Önerilen çözümü optimize etmek için analiz yapmak,
5. Müşterinin gerçek ihtiyaçlarının karşılanıp karşılanmadığının tespiti için tasarım sonuçlarının kontrolünü yapmak.



Şekil 4.1: “Neyi başarmak istiyoruz?” ile “Nasıl gerçekleştirebiliriz?” arasındaki haritalandırma ile tasarımın tanımı (Suh, 2001, s. 3).

Aksiyomlarla Tasarımın en önemli kavramı, tasarım sürecinin yönetimi için aksiyomların varlığıdır. Aksiyomun sözlük anlamı; doğruluğu ispatsız olarak kabul edilen önerme, belit olarak verilmektedir. Matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir: Başka bir önermeye götürülemeyen ve yanlış olduğu kanıtlanamayan, böyle bir geri götürme ve kanıtı da gerektirmeyip, kendiliğinden apaçık olan ve bu özelliklerinden dolayı diğer önermelerin temeli ve ön dayanağı olan temel önermeye aksiyom denir (Çebi, 2010). Teorem ise; kendi başına ispatlanamayan, fakat kabul edilen aksiyomlarla veya kurallar ile kanıtlanabilen öneridir (Suh, 2001, s. 7). Teoremin geçerliliği, teoremin dayandığı aksiyomlar ve tümünden gelim basamakları geçerliyse kabul edilmektedir (Çebi, 2010). Sonuç olarak, Aksiyomlarla Tasarım yönteminin aksiyomlara dayanması yöntemin bilimsel bir temele dayandığını göstermektedir.

Aksiyomlarla Tasarım yöntemi oluşturan iki aksiyomu şunlardır (Suh, 2001, s. 16):

Aksiyom 1: *Bağımsızlık aksiyomu*. Fonksiyonel gereksinimlerin bağımsızlığını sağlamak

Aksiyom 2: *Bilgi aksiyomu*. Tasarımın bilgi içeriğini en aza indirmek

Bu iki tasarım aksiyomu, ürün ve sistem tasarımları oluşturmak ve kurulan çözüm alternatiflerinden en iyisini seçmek için bir temel sağlamaktadır.

Aksiyomlarla Tasarım yöntemi anlatılmadan önce yöntemin içeriğinde yer alan ve bu çalışmada sıklıkla adı geçecek bazı terimlerin tanımlarının verilmesi, konunun daha iyi anlaşılması için faydalı olacağı düşünülmektedir (Suh, 2001, s. 14):

Fonksiyonel gereksinimler (ing. functional requirements): Fonksiyonel sahada ürünün işlevsel ihtiyaçlarının tümünü tanımlayan en küçük bağımsız ihtiyaçlar kümesidir.

Tasarım parametreleri (ing. design parameters): Belirlenen fonksiyonel gereksinimleri karşılayan tasarımı tanımlayan, fiziksel sahadaki anahtar ölçütlerdir.

Süreç değişkenleri (ing. process variable): Belirlenen tasarım parametrelerini üreten süreci tanımlayan süreç sahasındaki anahtar ölçütlerdir.

Tasarım matrisi (ing. design matrix): Fonksiyon gereksinim kümesi ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan matristir.

4.2 Aksiyomlarla Tasarımın Amacı

Aksiyomlarla Tasarımın ana amacı, tasarım sürecini sistematik ve mantıksal düşünce süreci ile bilimsel bir temele oturtturarak tasarım aktivitelerini iyileştirmektir. Bununla birlikte, Aksiyomlarla Tasarımın pek çok amacı mevcuttur: tasarımcıların yaratıcılığı geliştirmek, rasgele araştırma süreçlerini ve hatalı deneme sayısını azaltmak, önerilen tasarım alternatifleri arasından en iyi olanı seçmek vb... Aksiyomlarla Tasarım, fonksiyonel gereksinimler ve kısıtların saptanarak tasarım hedeflerinin kesin bir biçimde ifade edilmesini gerektirir. Bu da, tasarımcının hedefe odaklanmasına ve istenilmeyen özelliklerin mümkün olduğunda erken elenmesine yardımcı olarak iyi ve kötü tasarım kararlarının verilmesini sağlayacak kriterlerin belirlenmesine katkıda bulunur (Suh, 2001, Bölüm 1.4).

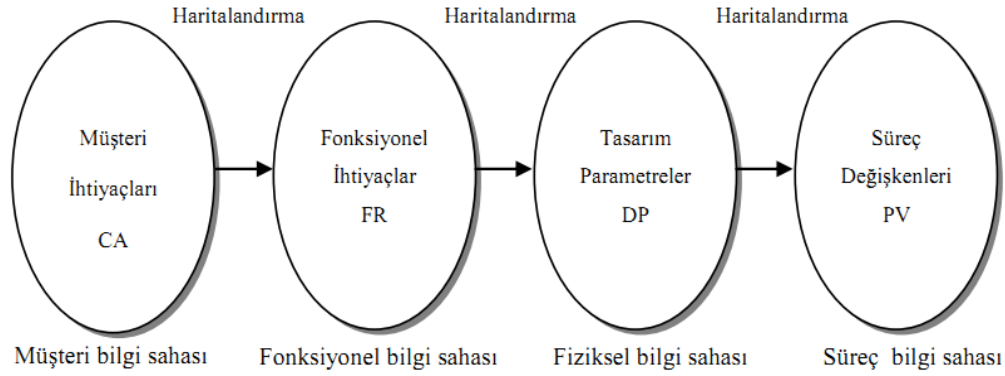
Endüstriyel rekabet, firmaların tasarım konusunda güçlü teknik yeteneklere sahip olmalarını gerektirir. Rekabet baskısı altında; bu firmaların yeni ürün çıkarma süresini kısaltması, imalat maliyetlerini düşürmesi, ürün kalite ve güvenilirliğini artırması ve gerekli fonksiyonları etkin bir şekilde karşılaması gerekmektedir. Tüm bu endüstriyel ihtiyaçlar üzerindeki en büyük etki, tasarım çözümleri geliştirme zamanı ve kalitesine dayanmaktadır. Aksiyomlarla Tasarım, mühendisliğin birçok alanına, yönetime ve diğer düşünsel alanlara yardımcı olabilmektedir (Suh, 2001, Bölüm 1.4).

Aksiyomlarla Tasarım yönteminin temelinde bilgi sahası, haritalandırma, tasarım hiyerarşisi ve tasarım aksiyomları vardır (Çebi, 2010).

4.3 Bilgi Sahaları ve Haritalandırma

Tasarım, başarmak istediğimiz şey ile nasıl başaracağız arasındaki etkileşimi içermektedir. Aksiyomlarla Tasarım yönteminde, bu etkileşim içerisinde yer alan

düşünce sürecini sistematik hale getirmek için dört farklı *saha* kavramı tanımlanmıştır ve bu sahalar farklı tasarım elemanlarını içermektedir. Aksiyomlarla Tasarım yöntemine göre tasarım sürecini oluşturan bu sahalar: (i) *müşteri bilgi sahası*, (ii) *fonksiyonel bilgi sahası*, (iii) *fiziksel bilgi sahası* ve (iv) *süreç bilgi sahasıdır*. Şekil 4.2.’de bilgi sahaları arası geçişler gösterilmiştir. Bu yapılandırmada sol tarafta yer alan bilgi sahası, “neyi başarmak istediğimizi”; sağ tarafta yer alan bilgi sahası, tasarım çözümü olarak “sol tarafta yer alan bilgi sahasında belirtilen gereksinimi nasıl karşılamayı amaçladığımızı” ifade etmektedir.



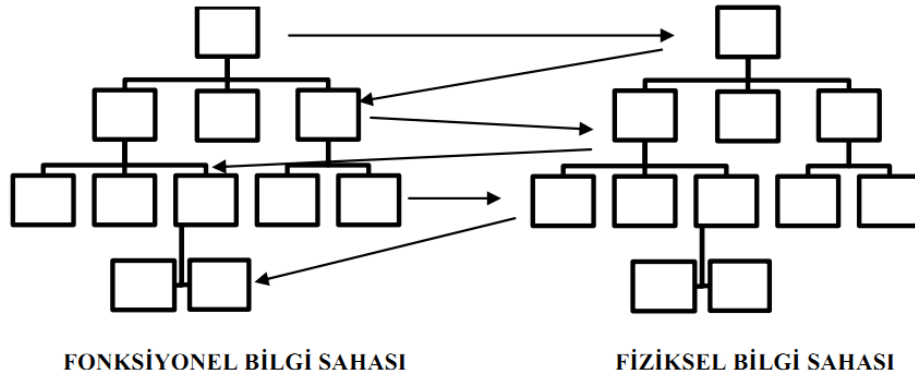
Şekil 4.2: Aksiyomlarla Tasarım yönteminde bilgi sahaları (Suh, 2001, s. 11).

Müşteri bilgi sahası, müşteri tarafından ürün, süreç, sistem veya malzemeden beklenen özellikler (veya gereksinimler) olarak tanımlanmaktadır. Fonksiyonel bilgi sahasında müşteri gereksinimleri fonksiyonel gereksinim ve kısıt olarak ifade edilmektedir. Fiziksel bilgi sahasında, belirlenmiş fonksiyonel gereksinimleri karşılayacak tasarım parametreleri ortaya çıkarılmaktadır. Son olarak; süreç bilgi sahasında, tasarım parametreleri ile belirlenen ürünü üretmek için süreç değişkenlerinin tanımladığı süreç geliştirilmektedir. Bilgi sahaları arasındaki kavramların ilişkilendirilmesi olan “ne” sorusu ile “nasıl” sorusuna geçişler, haritalandırma (ing: mapping) olarak isimlendirilmektedir (Suh, 2001, s.11).

4.4 Tasarım Hiyerarşisi

Tasarım süreci boyunca, bilgi sahaları arasında bu sahaya ait kavramların üst seviyeden alt seviyeye doğru daha ayrıntılı hale getirildiği şablona, tasarım hiyerarşisi ya da tasarım ağacı adı verilmektedir. Aksiyomlarla Tasarım yönteminde tasarım hiyerarşisi ana hatları ile şu şekilde oluşturulmaktadır; fonksiyonel bilgi sahasında fonksiyonel gereksinimler ortaya konularak sürece başlanmaktadır.

Fonksiyonel gereksimler tasarıma ait bütün ihtiyaçları tanımlayan bağımsız ihtiyaçların en küçük kümesi olarak tanımlanmaktadır. Tanımlanan fonksiyonel gereksinimleri karşılayacak fiziksel yapının oluşturulması için fonksiyonel bilgi sahası ile fiziksel bilgi sahası eşleştirilir. Bu aşamada fonksiyonel gereksinimlere karşılık gelecek tasarım parametreleri şekillendirilmektedir. Eğer FR kümesine karşılık gelen DP kümesi açık bir şekilde ifade edilmeden uygulanamıyorsa tekrar fonksiyonel bilgi sahasına dönülerek alt fonksiyonel gereksinim kümesi tanımlanır. Bu süreç en alt düzeydeki sorunlara ait çözümlerin bulunabileceği noktaya kadar ilerler ve böylece tasarım hiyerarşisi yapılandırılmış olunur. Bu yapılandırma işlem, *Zikzakla Ayırıştırma* olarak adlandırılmış ve Şekil 4.3.'de gösterilmiştir (Suh, 2001, Bölüm 1.7.7; Çebi, 2010).



Şekil 4.3: Zikzak ile ayırıştırma (Yavuz, 2010).

Her bilgi sahasına ait tasarım hiyerarşisi tasarım amacına göre oluşturulabilir. Bu yapılandırma işlemi, yukarıdaki sürece benzer bir biçimde zikzakla ayırıştırma yöntemiyle bilgi sahaları arasındaki seviyeler ilişkilendirilerek yapılmaktadır. Bu süreçte, tasarımın karmaşıklığı arttıkça bilgi sahalarında yer alan etmenlerin kümesi de artacaktır (Çebi, 2010).

4.5 Tasarım Aksiyomları

4.5.1 Bağımsızlık aksiyomu

Aksiyomlarla Tasarımın ilk aksiyomu olan *bağımsızlık aksiyomu*, tasarım hedeflerini tanımlayan fonksiyonel gereksinimler arasında fonksiyonel bağımsızlığın sağlanmasını gerektirmektedir. İki veya daha fazla fonksiyonel gereksinimin tanımlanacağı durumda, fonksiyonel gereksinimler birbirini etkilemeyecek şekilde tanımlanmalıdır. Bu da, fonksiyonel ihtiyaçları karşılayan ve bunların bağımsızlığını

sağlayacak doğru bir tasarım parametre kümesinin seçimi anlamını taşımaktadır (Suh, 2001, s. 16-17). Tasarım sürecinde fonksiyonel gereksinimler tanımlandıktan sonraki süreç, kavramsallaştırma süreci olarak isimlendirilir. Bu kavramsallaştırma sürecinde, fiziksel bilgi sahasından fonksiyonel bilgi sahasına haritalandırma ile tasarım parametreleri ve bütün tasarım süreci tanımlanmaktadır.

Bilgi sahaları arasında bu haritalandırma süreci, matematiksel olarak, tasarım hedef ve tasarım sonuçlarını tanımlayan karakteristik vektörler ile ifade edilmektedir. Fonksiyonel gereksinimler ile tasarım parametreleri arasındaki ilişki, matris biçiminde tanımlanmaktadır. Belirlenen tasarım hiyerarşi seviyesi için tasarım hedeflerini tanımlayan fonksiyonel gereksinimler kümesi, FR vektörünü oluşturur. Benzer şekilde, fonksiyonel gereksinimleri karşılamak için seçilen fiziksel bilgi sahasındaki tasarım parametreleri kümesi, DP vektörünü oluşturmaktadır. Bu iki vektör arasındaki ilişki Denklem 4.1 ile ifade edilmektedir (Suh, 2001, s. 18).

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (4.1)$$

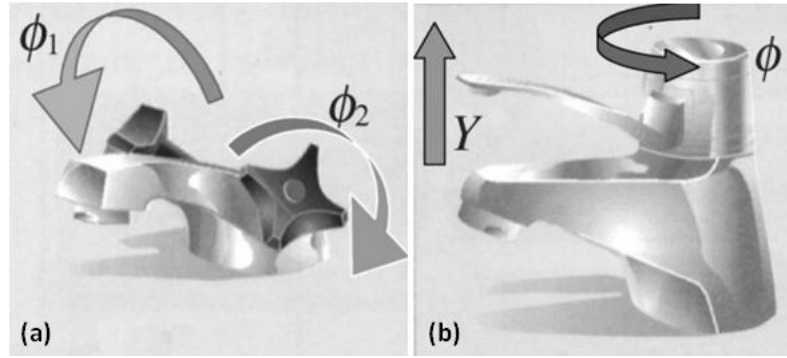
Bu denklemde, FR fonksiyonel gereksinimleri, DP tasarım parametresini ve A'da ilişki matrisini ifade etmektedir. Bu ilişki matrisi, FR ve DP arasında ilişki olup olmadığını göstermekte olup, 0 ve 1 elemanlarından oluşmaktadır. Bu matris, ilişkinin derecesini ve ilişkinin yönünü göstermemektedir. İlişki matrisinin genel görünümü Denklem 4.2 ile gösterilmiştir (Çebi, 2010):

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{m1} & A_{m2} & A_{m3} & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Burada m fonksiyonel gereksinim sayısını, n ise tasarım parametresi sayısını göstermektedir. Bu ilişki matrisinden yararlanılarak tasarım türü ve tasarımın bağımlı bağımsız olmadığı belirlenir.

Tasarımın kalitesinin artırılması ve karmaşıklığın azaltılması açısından bağımsızlık aksiyomunun uygulanması önem arz etmektedir. Musluk tasarım örneği, fonksiyonel bağımsızlığın teknolojik iyileştirmede oynadığı rolü göstermesi bakımından güzel bir örnektir. Şekil 4.4'de gösterilen sıcaklık ve debi ayarının yapılabildiği musluk tasarım örneği verilmiştir. Şekil 4.4.a'da gösterilen klasik muslukta bir koldan sıcak, bir koldan soğuk su akmaktadır. Debi ayarı da, her iki musluk başının da dönme

derecesine göre ayarlanmaktadır. İstenilen sıcaklıkta ve debide su elde edilmesi için her iki musluk başı da belirli derecede döndürerek denge sağlanmaya çalışılmaktadır. Burada her bir musluk kolu hem sıcaklık hem de suyun debisini değiştirebilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle, her iki fonksiyonel gereksinimin klasik musluk tasarımı açısından birbirine fonksiyonel olarak bağımlı olduğu söylenebilir. Bu da tasarımın karmaşık ve başarısız olmasına sebep olmaktadır. Tek elli musluk örneğinde ise sıcaklık ayarı, musluk kolunun yatay yönde yapılan hareketi ile yapılırken; debi ayarı ise musluk kolunun dikey yönlü hareketi ile sağlanmaktadır. Bu tasarım biçiminde fonksiyonel gereksinimler birbirinden etkilenmektedir ve böylece başarılı bir tasarım gerçekleştirilmiş olunur (Suh, 2007).



Şekil 4.4: (a) klasik musluk, (b) tek elli musluk (Jang ve diğ, 2002).

Klasik musluk ve tek elli musluk tasarımları için ilişki matrisleri sırasıyla Denklem 4.3 ve Denklem 4.4’de ifade edilmiştir.

$$\begin{Bmatrix} \vartheta \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{Bmatrix} \quad (4.3)$$

$$\begin{Bmatrix} \vartheta \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y \\ \phi \end{Bmatrix} \quad (4.4)$$

Burada ϑ suyun debisini, θ ise sıcaklığı belli etmektedir. Çalışma kapsamında bağımsızlık aksiyomu uygulamasına yer verilmediği için tasarım türleri ve matematiksel ifadelerine yer verilmemiştir.

4.5.2 Bilgi aksiyomu

Aksiyomlarla Tasarımın ilk aksiyomu olan bağımsızlık aksiyomu prensibi ile belirlenmiş fonksiyonel gereksinimlerin tanımladığı, aynı amacı gerçekleştiren birden fazla tasarım alternatifi olabilmektedir. Müşteri gereksinimlerini karşılayan ve bağımsızlık aksiyomunu gerçekleyen bu tasarımlar arasından bir tanesi diğerlerine

göre daha üstündür. *Bilgi aksiyomu* da geliştirilen tasarım alternatiflerini değerlendirip en iyi olanın seçimini sağlayan sayısal bir yaklaşımı içerir. Bilgi içeriği, olasılık terimi ile ifade edilmekte olup; bu aksiyom, fonksiyonel gereksinimler ile ifade edilen tasarım hedeflerinin gerçekleştirilme olasılığı en yüksek tasarımın seçimi prensibine dayanmaktadır. Yani bu prensibe göre; belirlenen fonksiyonel gereksinimleri karşılama olasılığı en yüksek olan tasarım, en iyi tasarımdır (Suh, 2001, s. 39).

4.5.2.1 Bilgi içeriği hesaplanması

Bilgi aksiyomu bilgi içeriği ile temsil edilir. Bu bilgi içeriği, belirlenmiş bir fonksiyonel gereksinimi (FR_j) karşılama olasılığını (p_j) ifade etmektedir. Bilgi içeriği Denklem 4.5'ten yararlanılarak şu şekilde ifade edilmektedir:

$$I_i = \log_2 \frac{1}{p_i} = -\log_2 p_i \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te bilgi içeriği, iki tabanında logaritmik fonksiyon ile ifade edilmiştir. Logaritmik fonksiyonla ifade edilmesinin sebebi, tasarım hedefini karşılayan birden çok fonksiyonel gereksinimin varlığında sistemin bilgi içeriğine toplama özelliği sunmaktır. Logaritma iki tabanında olabileceği gibi, on tabanında doğal logaritma'da kullanılabilir (Suh, 2001, s. 39). m adet fonksiyonel gereksinim varlığında, tüm sistemin bilgi içeriği I_{sys} Denklem 4.6 gibi genelleştirilir:

$$I_{sys} = -\log_2 p_{\{m\}} \quad (4.6)$$

Bu denklemde p_m , m fonksiyonel gereksinimi karşılayan birleşik fonksiyonu ifade eder. Tüm fonksiyonel gereksinimler istatistiksel olarak bağımsız olduğu durum olan ayrık tasarım için bilgi içerikleri Denklem 4.7 ve Denklem 4.8'den yararlanılarak hesaplanır:

$$p_{\{m\}} = \prod_{i=1}^m p_i \quad (4.7)$$

$$I_{sys} = \sum_{i=1}^m I_i = -\sum_{i=1}^m \log_2 p_i \quad (4.8)$$

Eğer tüm fonksiyonel gereksinimler istatistiksel bağımsız değilse; yani tasarım, ayrılmış tasarım olduğu durumda başarı olasılığı ve bilgi içeriği Denklem 4.9 ve Denklem 4.10'dan yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$p_{\{m\}} = \prod_{i=1}^m p_{i|\{j\}} \quad \{j\}=\{1,2,\dots,i-1\} \quad (4.9)$$

$p_{i|\{j\}}$, diğer ilişkili (korelasyonlu) tüm $\{FR_j\}_{j=i,\dots,i-1}$ gerçekleştirildiği durumda FR_i 'nin koşullu gerçekleşme olasılığını ifade eder. Bu durumda, I_{sys} şu şekilde ifade edilebilir:

$$I_{sys} = -\sum_{i=1}^m \log_2 p_{i|\{j\}} \quad \{j\}=\{1,2,\dots,i-1\} \quad (4.10)$$

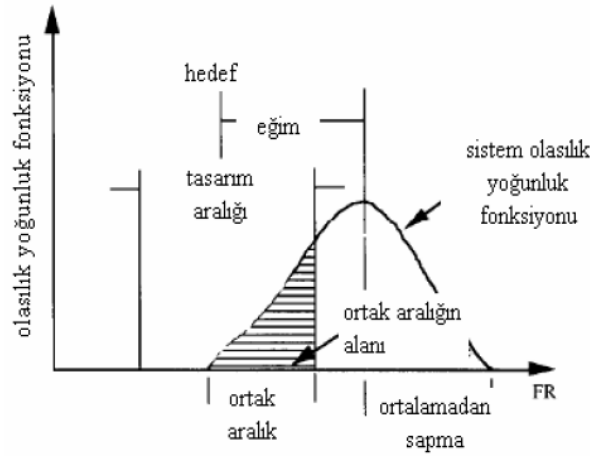
Bilgi aksiyomu, en düşük bilgi içeriğine (I) sahip tasarımın en iyi tasarım olduğunu belirtmekte ve tasarım hedefini sağlamak için en az miktarda bilgi gerektiğini savunmaktadır. Yani bilgi içeriğinin az olması alternatif seçiminde karmaşıklık azaltacağını ve karmaşıklığın azaltılması da süreçte hatanın az olmasını ifade eder. Matematiksel denkleme göre tasarımın gerçekleşme olasılığı 1.0 olduğunda, bilgi içeriği sıfır olacaktır. Tam tersi için, bir ya da daha fazla FR'nin karşılanma olasılığı sıfıra eşit olduğunda gereken bilgi sonsuz olacaktır. Bu durumda veya olasılık düşük olduğunda, fonksiyonel gereksinimi karşılamak için daha fazla bilgi toplanmasına ihtiyaç duyulacaktır (Suh, 2001, s. 40).

Başarı olasılığı düşük olduğunda, yani fonksiyonel gereksinimleri karşılamak için gerekli bilgi içeriği yüksek olduğu durumlarda, tasarım karmaşık olarak değerlendirilmektedir. Bu durum; yüksek doğruluk gerektiren koşullarda, bir ürün için fonksiyonel gereksinimlerin tolerans aralığı küçük olduğunda ortaya çıkmaktadır. Aynı zaman da bu durum, bir çok parça olduğunda ortaya çıkmaktadır. Çünkü parça sayısı arttığında bazı bileşenlerin belirlenen gereksinimler ile örtüşme olasılığı azalmaktadır. Bu kapsamda, karmaşıklığın sayısal ölçüsü bilgi içeriğidir; çünkü karmaşık sistemler daha fazla bilgi gerektirmektedir. Bu sebeplerden dolayı; karmaşıklık kavramı fonksiyonel gereksinimler için tasarım aralığına bağlı olmaktadır. Daha dar tasarım aralığı, fonksiyonel gereksinimleri gerçekleştirmeyi daha zorlaştırmaktadır (Suh, 2001, Bölüm 1.7.9).

Bilgi aksiyomu kapsamında; başarı olasılığı, fonksiyonel gereksinimlerin karşılanması için tasarımcı tarafından tolerans biçiminde tanımlanan *tasarım aralığı*

ve belirlenmiş tolerans aralıklarında parça üretimi yapan sistemin *sistem aralığının* kesişimi ile ifade edilmektedir. Tasarım ve sistem aralığına ait grafiksel gösterim Şekil 4.5’de verilmiştir.

Dikey eksen olasılık yoğunluk fonksiyonunu ifade etmekte olup; yatay eksen bilgi sahalarına bağlı olarak fonksiyonel gereksinimi ya da tasarım parametresini ifade etmektedir. Eğer haritalandırma fonksiyonel saha ile fiziksel saha arasında ise yatay eksen FR’yi göstermektedir. Haritalandırma fiziksel saha ile süreç sahası arasında ise yatay eksen DP’yi temsil eder.



Şekil 4.5: Tasarım aralığı, sistem aralığı ve ortak alan kavramları (Suh, 2001, s. 41).

Şekil 4.5’te görüldüğü gibi olasılık yoğunluk fonksiyonu verilen sistem aralığı ile tasarım aralığının kesişimi olan ortak alan (A_{cr}), FR’nin ne derece sağladığını gösteren alandır. Ortak aralık içerisinde ve sistem olasılık yoğunluk fonksiyonun altında kalan bu alan, A_{cr} , tasarımın belirlenen amacı başarma olasılığını ifade etmektedir ve bilgi içeriği de şu şekilde hesaplanır:

$$I = \log_2 \frac{A_{sys}}{A_{cr}} \quad (4.11)$$

4.5.2.2 Bilgi içeriğinin hesaplanmasında değişik bir yaklaşım

Robot kolunun bazı parametreleri belirli limitler içerisinde kontrol edilebildiğinden ya da programlanabildiğinden, endüstriyel robot kolu seçimi sürecinde kullanılan parametreler ile geleneksel AD uygulamalarındaki parametreler arasında kavramsal farklılıklar vardır. Suh (1990) çalışmasında tasarım aralığını, tasarımcı tarafından

belirlenen tasarım parametreleri ile ilişkili tolerans olarak tanımlamaktadır (s. 41). Bu tasarım aralığı, kabul edilen başarı aralığı olup; hedef değerden sapma değerlerin maksimum ne kadar olabileceğini ifade etmektedir. Sistem aralığı ise sistemin yapısından kaynaklı belirli hedef değerden sapma sebebiyle sistemin işi gerçekleştirebildiği aralık olup, kontrol edilememektedir. Örneğin, kereste kesme işleminde 100 cm'lik kereste parçaları kesilecek olsun. A testeresi ile bu işlem gerçekleştirilirse kesilen kereste parçaları 100 ± 0.01 cm uzunluğunda elde edilmektedir. Yani kesilen kereste parçaları ölçüldüğünde 99.99 ve 100.01 cm aralığında değiştiği gözlenmiş olunur. Bu işlem B testeresi ile yapıldığında, kesilen kereste parçaları 100 ± 0.1 cm uzunluğunda elde edilmektedir. Bu kereste parçaları ölçüldüğünde ise kereste parçalarının 99.9 ve 100.1 cm aralığında olduğu görülür. Testerelerin hassasiyetinden kaynaklı tekrarlanabilirlik parametresindeki bu farklılıklar, testerelerin sistem aralığını oluşturmaktadır ve değişkenlik gösteren bu ölçüt, kontrol edilemeyen ölçüttür.

Çeşitli sistemlerin bazı ölçütleri, sistemin yapısından dolayı belirli sınırlar içerisinde değişikliğe imkan tanıyabilmektedir. Yani, belirli bir aralık içerisinde istenilen tüm hedef değere ulaşabilmektedir. Tasarım parametrelerini ifade eden bu tasarım ölçütleri, çalışmada sınırlı *kontrol edilebilir ölçütler* olarak isimlendirilecektir. Helander ve Lin (2002)'in, ergonomik tasarım kavramı seçimi problemi bu tür ölçütlerin yer aldığı problem yapısına örnek gösterilebilir. Çalışmalarında antropometrik verilerden yararlanarak, ergonomik mobilya tasarım kavramı seçimi için Aksiyomlarla Tasarımın bilgi içeriği hesaplama formülünde değişikliğe gitmişler ve formülasyonda yer alan bazı kavramları yeniden tanımlamıştır. Endüstriyel robot kolu seçimi sürecinde de *kontrol edilebilen ölçütlerin* yer alması sebebiyle bu yazarların çalışmasını örnek göstermek yararlı olacaktır.

Mevcut problem yapılarındaki kavram farklılıklarını tespit etmek amacıyla sistem ve tasarım aralıklarının tanımları incelenecek olursa; Suh (1990) çalışmasında tasarım aralığını, tasarımcı tarafından belirlenen tasarım parametreleri ile ilişkili tolerans olarak tanımlarken (s. 24), Helander ve Lin (2002) kendi problemlerinde tasarım aralığının, antropometrik ölçülere dayalı arzulanan ayar aralığına karşılık geldiğini ifade etmişlerdir. Diğer bir ifade şekli ile; Suh'un tanımına göre tasarım aralığı kabul edilebilir başarı aralığını belirtirken; Helander ve Lin'in arzulanan aralık olarak isimlendirdiği tasarım aralığı, sistemin kesin olarak çalışma kabiliyetine sahip

olduğu aralıktır. Yani ölçütün değerinin belirli sınır değerler içerisinde ayarlanabilir bir yapıda olması sebebiyle ölçütün ayarlanabilir sınırlarının ne kadar olması gerektiği ile ilgilidir ve bu da sistemden beklenenin, belirlenen aralıktaki işlerin kesin olarak başarıldığı anlamını taşımaktadır.

Helander ve Lin (2002) mevcut imalat sisteminin yeteneğini tanımlayan ve tolerans şeklinde verilen sistem aralığı kavramının da, mobilya üreticileri tarafından sunulan ayar aralığına karşılık geldiği belirtmişlerdir. Burada belirtilen sistem aralığı, imalatçı firmaların kullanıcılara sunmuş olduğu ürünün ayarlanabilir değer aralıklarının ne olduğu ile ilgilidir. Her bir mobilya alternatifinin tasarım parametrelerine ait bilgi içeriğini hesaplarken, ölçütler belirli sınırlar içerisinde kontrol edilebilir olduğundan dolayı kavramlar arası anlam farklılıkları dikkate alarak AD formülasyonunda değişikliğe gidilmiştir. Çalışmalarında bu kavram farklılıklarının yol açtığı etkiyi göstermek için ayarlanabilir masa seçim örneğini vermiştir:

Bir kullanıcı gruba yapılan anket sonucu, ayarlanabilir masa yüksekliğinin 20 ile 30 inç arası (tasarım aralığı=10 inç) olması gerektiği belirlenmiş ve farklı üretici tarafından imal edilmiş iki masa değerlendirilecektir. A masasının ayarlanabilir aralığı 20’den 25 inç e kadardır. B masasının ki 20’den 35 inç e kadardır. Olasılık dağılımının düzgün dağılım olduğu kabul edilerek ve geleneksel AD formülasyonu kullanılarak, her iki masaya ait bilgi içerikleri;

$$\text{Masa A: } I_A = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Aralığı}_A}{\text{Ortak Aralık}_A} \right) = \log_2 \left(\frac{5}{5} \right) = 0$$

$$\text{Masa B: } I_B = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Aralığı}_B}{\text{Ortak Aralık}_B} \right) = \log_2 \left(\frac{15}{10} \right) = 0.58$$

şeklinde bulunmuştur.

AD’nin bilgi aksiyomu gereği minimum bilgi içeriğine sahip tasarım en iyi tasarım olacağından Masa A’nın tercih edilmesi gerekmektedir. Fakat, Masa B kullanıcının talep ettiği tüm aralığını karşılarken, Masa A yarısını karşılamaktadır. Dolayısıyla, Masa B tüm müşterilerin ihtiyacını karşılayabilme yeteneğine sahiptir.

Bu karmaşıklığın sebebi, yaklaşımda kullanılan kavram farklılıklarından ileri gelmektedir. Yukarıdaki probleme yaklaşım şekli şu şekilde olmalıdır: Bir örneklem grubundan gelen rassal kullanıcıların mobilya yükseklikleri taleplerinin ne olduğu saptanmalıdır. Bu talepler, ayarlanabilir yüksekliğin hangi dağılıma uyması

gerektiğini ve tasarım aralığını belirlenmesini sağlamaktadır. Görüldüğü gibi; burada bahsi geçen tasarım aralığı, hedef değerden sapma yerine sistemin kontrol edilebilen çalışma aralığıdır. Bu sebeple, tasarım aralığı ve sistem aralığının tanımlarının tekrar yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Helander ve Lin (2002) kendi problemleri için *tasarım aralığını* fonksiyonel gereksinimin ifade ettiği aralık olarak tanımlamışlar ve ayarlanabilir masa için tasarım aralığını 20-29 inç olarak belirlemişlerdir. *Sistem aralığını* ise imalatçı tarafından imal edilen aralık olarak, *ortak alanı* da bu iki dağılım için ortak alan (sistem aralığı ve tasarım aralığı) olarak tanımlamışlardır. Böylece başarı olasılığı ve bilgi olasılığı formülasyonunu Denklem 4.12 ve Denklem 4.13'deki gibi uyarlanmıştır:

$$\text{Başarı olasılığı: } p = \text{ortak aralık} / \text{tasarım aralığı} \quad (4.12)$$

$$\text{Bilgi içeriği: } I = \log_2 \left(\frac{1}{p} \right) = \log_2 \left(\frac{\text{Tasarım Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} \right) \quad (4.13)$$

Bu denklemden yararlanarak A imalatçısı tarafından masa yüksekliği için verilen aralık 23-32 inç olduğu ve durumda bilgi içeriği;

$$I_A = \log_2 \left(\frac{\text{Tasarım Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{9}{6} \right) = 0.58 \text{ bit} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

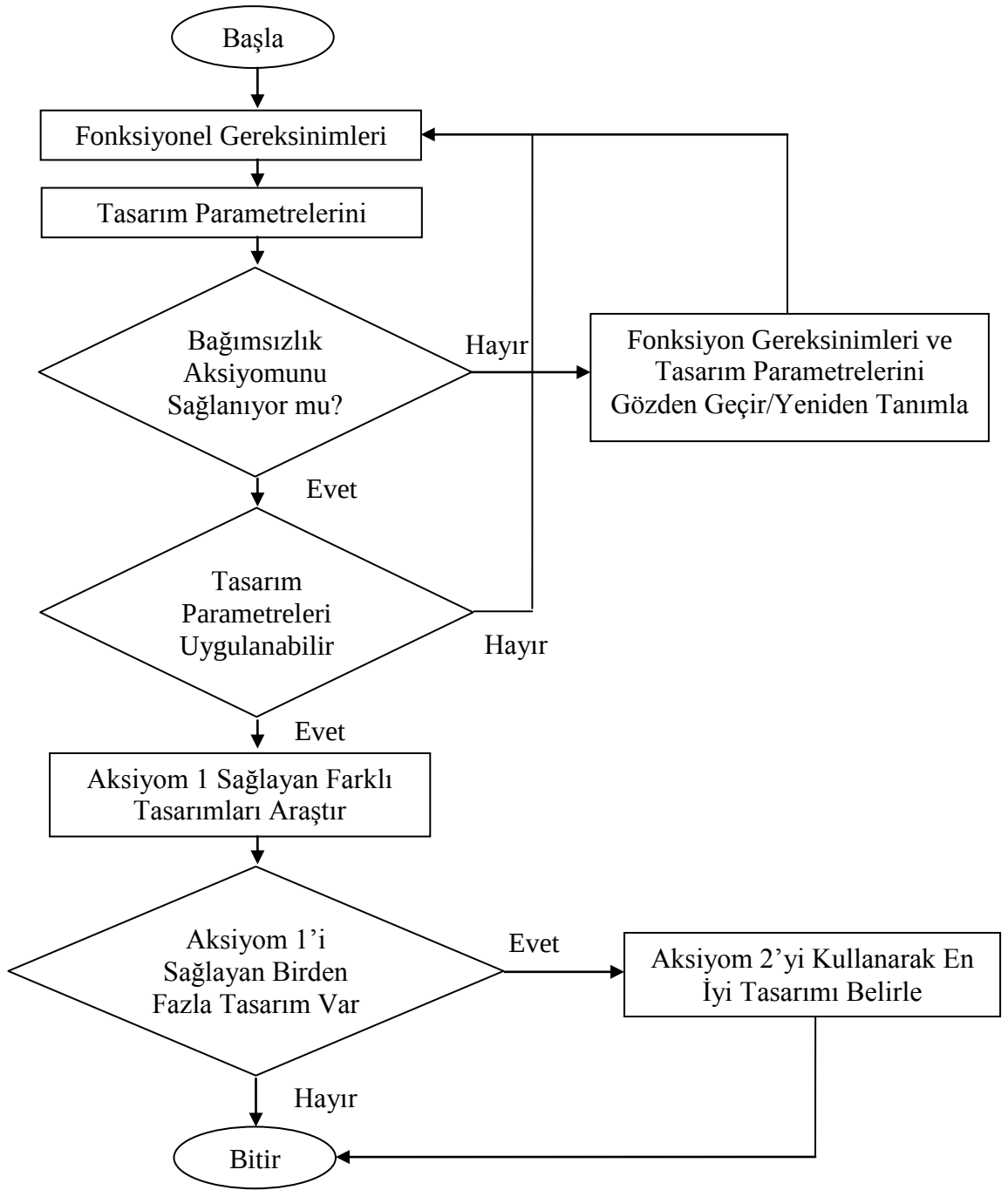
Bu yaklaşımda her bir ölçüt için bilgi içerikleri Denklem 4.13'ten yararlanılarak hesaplandıktan sonra bilgi içerikleri toplanacak ve en düşük bilgi içeriğine sahip alternatif seçilecektir.

Tez çalışmasının konusunu oluşturan endüstriyel robot kolu seçimi problemlerinde kontrol edilebilen ölçütler ile kontrol edilemeyen ölçütlerin beraber yer alması sebebiyle genel olarak şu şekilde bir yaklaşım izlenecektir: Aksiyomlarla Tasarımın bağımsızlık aksiyomunu sağlayan robot kolu tasarım parametreleri tanımlandıktan sonra; robot kolu alternatifleri, filtreleme ölçütleri yardımıyla ihtiyaca uygun olarak elenecektir. Sonraki adımda, bilgi içerikleri ölçüt tipine göre hesaplanacaktır. Kontrol edilemeyen ölçütler için bilgi içeriği, Suh'un geliştirmiş olduğu geleneksel AD yöntemine göre hesaplanırken, kontrol edilebilen ölçütler için bilgi içeriği ise Helander ve Lin'in kendi problemine uyarlamış olduğu AD yöntemi temel alınacaktır. Her iki yöntemin de, işi başarma ve fonksiyonel gereksinimleri karşılama olasılığına dayanmasından dolayı, kriterlerin bilgi içeriklerinin toplanabilir bir

yapıda olup, her bir alternatifin bilgi içeriği bulunacaktır. Son aşamada da en düşük bilgi içeriğine sahip robot kolu seçilecektir.

4.5.3 Bağımsızlık ve bilgi aksiyomları arasındaki ilişki

Aksiyomlarla Tasarım yöntemi, tasarım alternatifleri arasından seçim yapılmadan önce bu alternatiflerin hedeflerini tanımlayan fonksiyonel gereksinimlerin birbirinden fonksiyonel olarak bağımsız olmasını gerektirmekte, yani tasarımın bağımsızlık aksiyomu sağlanmalıdır (Suh, 2001, s. 59). Bağımsızlık aksiyomunu sağlaması için tasarım türünün, ideal tasarım türü olan ayırık tasarım veya kabul edilebilir tasarım olan ayrılmış tasarım olması gerekmektedir. Birinci aksiyom olmadan seçim yapıldığı varsayıldığında minimum bilgi içeriğine sahip tasarım seçilmiş olunacak, fakat seçilen tasarımın bağımsızlığı sağlanmayacaktır. Bu da uygun tasarım kavramının ortaya çıkmasına engeldir. Benzer şekilde bilgi aksiyomu kullanılmaması durumunda da bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarımlar arasından en iyi tasarımın seçilmesi sürecini imkansız hale getirebilmektedir. Bu nedenle bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarımlar arasından en iyi tasarımın belirlenmesi için bilgi aksiyomuna başvurulmaktadır. Şekil 4.6’da bağımsızlık aksiyomu ile bilgi aksiyomu arasındaki ilişki sunulmuştur (Çebi, 2010).



Şekil 4.6: Bağımsızlık aksiyomu ile bilgi aksiyomu arasındaki ilişki (Çebi, 2010).

5. KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

İnsanoğlunun hayatının her alanında *karar verme* durumu ile karşı karşı olduğu tartışmasız bir gerçektir. Karar verme problemleri, günlük hayatta karşılaşılan basit problemler olabileceği gibi, karmaşık problemlerde olabilmektedir. Bir işletmenin üretim faaliyetine gerçekleştirebilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için üretim faktörlerinin ne zaman, hangi oranlarda, nasıl tahsis edileceği gibi konularda da yöneticilerin üzerine düşen bu karar verme problemlerine çözüm getirmektir. Karar verme bilişsel bir sürecin çıktısı olup, birden fazla alternatif arasından seçim yapma işlemidir.

Problemlerin yapısına ve karmaşıklığına göre karar verme aşamasında veri miktarı çok fazla olabilmekte ve kararlar uzun bir süreci kapsayabilmektedir. Ayrıca bazı problemlerin çözümü için bu sebeplerle birlikte insan beyninin bilgi saklama ve işleme kapasitesinin sınırlı olması da karar verme sürecini zorlaştırmaktadır. Bu durumlar için etkileşimli, bilgisayar tabanlı, belirli bir donanım ve yazılıma sahip, iç ve dış verilere ulaşabilen bilişim sistemleri olan karar destek sistemlerinde yararlanılmaktadır. Karar destek sisteminin kullanılmasındaki amaç karar verme etkinliğini ve kalitesini artırmaktır (Şener, 2006; Çebi, 2010).

5.1 Karar Destek Sisteminin Tanımı

Karar Destek Sistemlerinin (KDS, ing. Decision Support System, DSS) kapsamının geniş olması bakımından literatürde bir çok tanımı mevcuttur (Çebi, 2010):

- KDS, karar verme kalitesini iyileştirmeyi sağlayan bilgisayar tabanlı bir araçtır (Keen ve Scott-Morton, 1978).
- KDS, kullanıcıların bilme ve kavrama ile ilgili bilişsel yeteneklerini geliştirerek karar vermeye yardımcı olan özel olarak tasarlanmış sistemlerdir (Zachary, 1988).

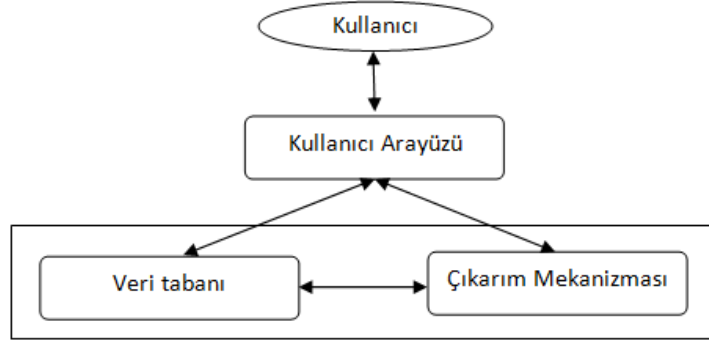
- KDS, işletme içerisinde üst düzey kararların sağlıklı ve bir gerekçeye dayandırılarak alınmasına yardımcı, yazılım sistemidir (Holsapple ve Whinston, 1992, s. 24).
- KDS, stratejik ve taktiksel düzeydeki karar verme sürecini kolaylaştıran ve süreci hızlandırmayı sağlayan yazılımdır (Topçu, 1995).
- KDS, çeşitli kaynaklardan eriştiği verileri düzenleyen, karar için model kuran, verileri analiz eden ve değerlendirme sonuçlarını veri tabanında yer alan modellerden yararlanarak karar vericiye seçim sırasında destek veren bilgisayar temelli bir sistemdir (Sauter, 1997, s. 38).
- KDS, veriler, birleştiren, gelişmiş analitik model ve araçlar sunan karar verme sürecinde destek sağlayan sistemlerdir (Can, 2006).
- KDS, veri ve analizler ile karar vericiye yardımcı, bilgisayar temelli bilgi sistemleridir (Lu ve diğ., 2007, p. 32).

KDS literatürde yer alan bu tanımlardan yola çıkılarak; birbiriyle çelişen kriter altında karar vericinin alternatifler arasından optimum seçimi yapmasını sağlamak ve karar verme sürecini hızlandırmak amacıyla kararların ve işlenen verilerin prosedür kümesine dayanan, gelişmiş analitik model ve araçlar sunan bilgisayar temelli bir sistem olarak tanımlanabilir. Bu sistemler hızlı ve etkin karar verme sürecindeki katkıları nedeniyle endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Endüstride; imalat yönetimi, finansal yönetim, satış yönetimi, stratejik yönetim, tedarik zinciri yönetimi, dağıtım yönetimi gibi birçok alandaki faaliyetlerde yararlanılmaktadır (Çebi, 2010).

5.2 Karar Destek Sisteminin Bileşenleri

Karar destek sistemlerinin bileşenleri, çeşitli kaynaklarda farklı şekilde isimlendirilmekle birlikte Şekil 5.1’de gösterildiği gibi *veri veritabanı*, *çıkartım mekanizması* ve *kullanıcı ara yüzünden* oluşmaktadır (Şener, 2006; Can, 2006; Çebi, 2010).

Veritabanı; bilgisayarlarda toplanan verilerin işlenip enformasyon olarak kullanıcıya sunulduğu ortam olup, problemle ilgili bilgi ve kural cümlelerinden oluşmaktadır.



Şekil 5.1: Bir KDS'nin bileşenleri (Çebi, 2010).

Çıkarım mekanizması; Veri analizi için gerekli yazılım araçlarını ve modellerini içermektedir. Yazılım tabanlı çıkarım mekanizması sayesinde karar verme, en iyileme, benzetim, tahmin ve analiz modelleri kullanılarak verilerden çıkarımlar yapılmaktadır.

Kullanıcı arayüzü ise veritabanı, çıkarım mekanizması ve kullanıcı arasındaki etkileşimi sağlayan araçtır. Kullanıcı bilgi girişini bu ara yüz aracılığı ile yapmakta ve sistemin çıktısına yine bu ara yüz aracılığı ile ulaşmaktadır. Kullanıcı ile etkileşimi sağlayan araç olması sebebiyle anlaşılır bir yapıda, kullanıcı dostu olacak biçimde tasarlanmalıdır.

5.3 Karar Destek Sisteminin Yararları

Çok farklı amaçlar için kullanılan karar destek sistemlerinin kullanıcılara sunduğu başlıca yararlar şunlardır (Can, 2006; Şener, 2006, Çebi, 2010):

- Karmaşık ve yapısal olmayan problemlerinin çözümünü kolaylaştırır.
- Karar vericinin bilgi sunma ve işleme kapasitesini artırmaktadır.
- Karar verme etkinliğinin ve üretkenliğinin artmasını sağlar.
- Daha fazla alternatifin test edilmesine imkan tanır.
- Tutarlı ve kaliteli kararlar verilmesine yardımcı olur.
- Karar vericiye göre daha hızlı olduğu için zaman ve maliyet tasarrufu sağlar.
- Arayüzleri sayesinde karar vericinin verileri anlamasını ve yorumlamasını kolaylaştırır.

- KDS, sorun çözümünün yanında sorunla ilgili düşüncelerin tanımlanması ve analizinde kullanılabilir. Söz konusu işin daha iyi anlaşılması ve kavranması sağlanır.
- Anlık veri elde etme ve verileri analiz etme fırsatı sağlar.

KDS'nin faydaları bunlarla da sınırlı olmayıp, daha birçok faydası ve uygulama alanı vardır.

6. AKSİYOMLARLA TASARIM YÖNTEMİ İLE ROBOT SEÇİMİ

6.1 Aksiyomlarla Tasarım Yönteminin Seçim Nedenleri

Teknolojinin gelişmesi ile rekabetin artması ve çevresel koşullarda meydana gelen hızlı değişikliklerle birlikte işletme yönetimi daha karmaşık bir hal almıştır. Teknolojide meydana gelen bu hızlı gelişme, işletmeleri çeşitli kazanımlarından dolayı üretim faaliyetlerinde robot kollarını kullanmaya itmesinin yanında bu faaliyetler için tercih edebileceği alternatiflerin artmasını da beraberinde getirmiş ve bu da karar verme işlemini zorlaştıran bir etken olmuştur. Sağlam bir karar verme sürecine sahip bir işletme açısından karar verme yalnızca bilgi toplama olmayıp, aynı zamanda gelişmiş karar verme yöntemlerinden yararlanma anlamını taşımaktadır (Özel, 2007).

Genel olarak işletmeler karar sürecinde bilgi toplama ve toplanan bilgilerin analizi aşamasına yoğunlaşırken, alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında daha az çaba ve zaman harcamaktadırlar. Pek çok günlük karar, sezgisel olarak alınabilmektedir. Uzun vadeli ve karmaşık kararların sezgisel olarak alınması yeterli veya doğru olmayabilir (Özel, 2007). Bir robot firması yetkilileri ile yapılan derinlemesine mülakatlar sonucu; robot sistemleri tasarım sürecinde tasarımcının, robot kolu ön seçim işlemini sezgisel olarak gerçekleştirdiği öğrenilmiştir. Ön seçim süreci; müşteri ihtiyaçları, hedefleri ve kısıtları öğrenildikten sonra programlaması yapılacak ve simülasyon testine alınacak robot kolu alternatifinin seçimini içerir. Sezgisel olarak seçilecek yanlış robot kolu alternatifinin, sonraki adımlarda robotun programlamasını ve uyumlaştırılmasını zorlaştıracak gibi kaynak harcadığı için zaman ve maliyet kaybına sebep olabilmektedir. Başka bir kötü senaryo da, yanlış seçimin müşterilerin ihtiyacına tam olarak cevap veremeyen başarısız projelere sebep olmasıdır. Bu sebeple karar verme sürecinin sistematik ve bilimsel bir temele oturtulması, karar verme sürecinin etkin ve tutarlı bir şekilde yönetilmesi için faydalı olacaktır.

Karar sürecinde birbiriyle çelişen kriterlerin de yer alması, süreci zorlaştıran diğer bir etkidir. Bu da bazı kriterler açısından taviz verilmesi, yani kriterler arasında ödünleşmenin sağlanması anlamını taşımaktadır. Sezgisel olarak kriterler arasında ödünleşmenin sağlanması epey zor olacaktır. Bu sebeple çoklu ölçüt altında karar verme yöntemlerine ihtiyaç doğmaktadır.

Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu, birçok ölçütün yer aldığı çok ölçütlü karar verme problemlerinde alternatifler arasında seçim yapma amaçlı kullanılan bilimsel temele dayanan bir yaklaşımdır. Bu prensip, müşterinin ihtiyacına göre tasarımcı tarafından belirlenen tasarım aralığını hesaba katmaktadır. Bu özelliği sayesinde; diğer çok ölçütlü karar verme yöntemleri, kriter değeri en iyi seviyede olan alternatifleri seçerken, Aksiyomlarla Tasarım yaklaşımı tasarım aralıklarını sağlayan alternatifleri seçecektir. Tasarımcı, birbiri ile çelişen kriterlerden dolayı bazı kriterlerden ödün verme durumunda kalacağı için bir kriterin en iyi düzeyde karşılamasından ziyade, kendisinin belirlediği bir tasarım aralığını karşılamasını isteyebilmektedir (Özel, 2007). AHP, bulanık AHP, TOPSIS ve puanlama tekniğine dayanan diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerinde bir kriterin değerinin çok yüksek veya düşük olması toplam puanı etkileyeceği için çelişen ölçütler altında ilgili kriter yüzünden istenmeyen alternatifi seçim sırasında ön sıralarda yer alabilmektedir. Bu yöntemlerde bu durumun önüne geçilmesi amacıyla ölçütler önem derecesi ile ağırlıklandırılmaktadır. Fakat bu durum da karar aşamasının öznel yargılara dayanmasına, yani sübjektif olmasına sebep olmaktadır. Oysa Aksiyomlarla Tasarım yönteminde sistemin işi başarabilme olasılığı dikkate alınarak kıyaslama puanı (bilgi içeriği) hesaplandığı için diğer yöntemlere göre daha objektif sonuç vermektedir. Bunun yanında sistemin, tasarım aralığından daha iyi bir sistem aralığına sahip olması, tasarım aralığı ötesindeki değerler açısından bilgi içeriğinde marjinal katkı sağlamaz. Yani ilgili kriter açısından sistem aralığının, hedeflenen aralıktan daha olumlu bir değer alması ile hedeflenen aralık ile aynı değeri alması arasında fark yoktur. Karşılanan tasarım aralığının ötesindeki değerler için kayıtsız kalmaktadır. Matematiksel ifade şekli ile her iki durumda da başarı olasılığı 1'den büyük olamayacağı için bilgi içeriği sıfır olacaktır. Ayrıca Aksiyomlarla Tasarım, herhangi bir kriterin tasarım aralığının karşılanamaması durumunda alternatifin reddedilmesini sağlaması bakımından diğer yöntemlerden ayrılmaktadır.

Genel olarak çok ölçütlü karar verme tekniklerinin matematiksel formülasyonu ile alternatiflere ait puanlar belirlenirken, kriter bazında göreceli değerler dikkate alınmaktadır. Yani alternatif kümesi içerisindeki her robotun kriter bazında birbirleri ile kıyaslanması sonucu sıralama yapılmaktadır. Bu kıyaslama referans bir değere göre yapılmaktadır. Alternatif kümesine dahil edilecek yeni bir alternatif, seçim sonucunu değişikliğe sebep olabilecektir. Aksiyomlarla Tasarım yönteminde ise alternatiflerin değerlendirme süreci birbirinden bağımsızdır ve kümeye eklenecek yeni bir alternatif mevcut alternatiflerin bir birine göre konumunda değişikliğe sebep olmayıp, sıralamada kendi seviyesine yerleşecektir. Ayrıca formülasyonunun, işi başarma olasılığına dayanması sebebiyle hesaplama yöntemi diğer MADM metotlarına göre basit ve anlaşılırdır. Kriterlerin önem derecesini belirlemeye ihtiyaç duyulmaz. Bunun yanında, değerlendirme kriteri ve alternatif sayısındaki artış, diğer MADM yöntemlerin çözümünün zorluk derecesini daha fazla etkileyecektir.

Bu çalışmada kullanılmasına ihtiyaç duyulmamakla birlikte niceliksel ve niteliksel ölçütlerin birlikte kullanılabildiği bir yöntem olup, klasik ve bulanık kümelerle işlem yapılmasına imkan sağlamaktadır.

Yukarıda belirtilen faydalarından dolayı bu çalışmada endüstriyel robot kolu seçimi için bilimsel bir metot olan Aksiyomlarla Tasarım yöntemi uygulanmıştır.

6.2 Robot Seçim Ölçütlerinin Tanımlanması

Endüstriyel robot kolu seçimi sürecinde genellikle, Bölüm 3.4'te tanımlanan seçim ölçütleri ve Bölüm 3.5'te sınıflandırma amacı ile kullanılan ölçütlerden yararlanılmaktadır. Bu ölçütler kalitatif ve kantitatif ölçütleri kapsamaktadır. Aynı zamanda bu ölçütler, seçim kısıtlarını oluşturmaktadır. Endüstriyel robot kolu seçim sürecinde yararlanılacak seçim ölçütlerinden bazıları vazgeçilmez, yani olmazsa olmaz niteliktedir. Bu ölçütleri gerçeklemeyen alternatifler, seçim sürecine dahil edilmemelidir. Bu sebeple seçim sürecini hızlandırmak için uygun olmayan alternatiflerin erken aşamada eleneceği iki ana aşamadan oluşan bir seçim metodolojisi önerilmiştir. İlk aşamada, robot kolları yukarıda bahsedilen ölçütlerden yararlanılarak filtreleme işlemi ile elenecektir. Çalışmada, filtreleme için kullanılacak ölçütler *filtreleme ölçütleri* olarak tanımlanacaktır. Bu ölçütler, robot tedarikçileri tarafından robotun değerlendirme sürecine alınması için geçerliliğinin sağlanması şart ölçütlerdir. İkinci aşamada ise, birinci aşamada filtreleme işleminden

sonra elemeyi geçen alternatifler Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomundan yararlanılarak değerlendirilecek ve minimum bilgi içeriğine sahip alternatif, üretim sürecine en uygun robot olarak önerilecektir.

Endüstriyel robot kolu alternatifleri değerlendirmesi için önerilen Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomunu uygulamadan önce; robot imalatçıları ile yapılan görüşmeler sonucu, tasarım ve sistem aralıkları kavramlarının tekrar tanımlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bölüm 4.5.2’de de değinildiği üzere tanımlama ihtiyacı, robot imalatçılarının kullanıcılara sunduğu kavram tanımlarının, klasik AD metodunda kullanılan kavram tanımlarından farklı olmasından doğmaktadır. Bu sebeple robot kolu ölçütlerine ait tasarım aralığı ve sistem aralığı kavramları tekrar tanımlanıp, bilgi içeriklerinin hesaplanma tekniklerinde uyarlamalar yapılmıştır. Bu bölümde robot kolu seçim sürecinde dikkate alınan filtreleme ölçütleri, tasarım parametreleri ve bilgi içerikleri hesaplama teknikleri ele alınacaktır.

6.2.1 Filtreleme ölçütleri

Filtreleme ölçütleri, alternatiflerin ön eleme süreci için kullanılan ifadesel veya taviz verilemeyecek ölçütlerdir. Bu ölçütlerin geçerliliği önşart olarak kabul edilir.. Çalışmada yer verilen robot kolu seçimi için eksen sayısı, koruma sınıfı, tahrik sistemi, hareket kontrol metodu, bağlantı şekli, nominal taşıma kapasitesi, bilek erişim mesafesi filtreleme ölçütü olarak kabul edilmiştir.

Eksen sayısı: Fonksiyonel sahada, “robot kolunun işi gerçekleştirmesinde esnek hareket kabiliyetine sahip olma” fonksiyonel gereksinimine denk gelen ölçüttür. Değerlendirmeye alınacak X firmasına ait robot kollarından bazıları 4 eksenli iken, bazıları da 6 eksenli oluşmaktadır. Eksen sayısı, yapılması istenilen uygulamaya göre yörünge ve konumlandırılması istenilen pozisyonlar dikkate alınarak tespit edilmektedir.

Koruma sınıfı: X firmasına ait robotların, muhafazalı elektrik ürünlerinin çevresel şartlara olan dayanıklılığını ifade eden IP koruma sınıfları IP10, IP54 ve IP65 olmak üzere üç tiptir.

Tahrik sistemi: X firmasının robotlarının tamamı elektrik tahriklidir. Pnömatik, hidrolik tahrikli robot sistemleri de olabileceği için bu parametre filtreleme değişkeni olarak seçim kriteri olarak eklenmiştir.

Bağlantı şekli: Tesisin düzenleme şekli, alan ve engel kısıtları göz önüne alınarak robotların bağlantı şeklinin nasıl olabileceğine karar verilmektedir. “Çevre koşullara uygunluğun ve uygun yerleşimin sağlanması” fonksiyonel gereksinimlerinin karşılanması için bağlantı şekli önemli olabilmektedir. Robot alternatifleri taban, tavan veya duvar bağlantı şekillerinden yalnız birine sahip olabilecekleri gibi, birden fazla bağlantı şekline de sahip olabilmektedirler.

Nominal taşıma kapasitesi: Yük ve ekipmanların taşınabilmesinin sağlanması bakımından bu ölçüt önemlidir. Robot kolu seçim sürecinde taşıma kapasite ile ilgili maksimum ve nominal taşıma kapasitesi olmak üzere iki farklı ifade karşımıza çıkmaktadır. Maksimum taşıma kapasitesinin anlık taşıma kapasitesini ifade etmesinden ve hız değişkenini etkilemesinden dolayı, değerlendirme sürecinde nominal yük (kg) dahil edilmiştir. Nominal yükün maksimum değeri ile maksimum hıza ulaşılabildiği için belirtilen üst değerler altında bu değişkenler birbirini etkilememektedir. Robot firması tarafından sunulan nominal taşıma kapasitesi, 0-maksimum değer arası tüm yüklerin aynı tekrarlanabilirlik ve hızda taşınabileceğini ifade ettiğinden dolayı, *kontrol edilebilir değişkendir* ve bu değerler arası işi gerçekleştirme olasılığı birdir. Robot kolunun işi gerçekleştirebilmesi için robotun nominal taşıma kapasitesinin robotun taşıyacağı yük ile ekipmanın ağırlığından büyük veya ağırlığına eşit olması istenmektedir. İşlerin bu ölçütten dolayı gerçekleştirilememesi durumu kabul edilemeyeceğinden önkoşul olarak kabul edilmiştir. Çünkü, bu ölçüt direk olarak işin yapılabilirliği ile ilgilidir. Ayrıca taşınacak yük dikkate alınırken, ürünün ağırlığı ile uç elemanın ağırlığının toplamı göz önünde bulundurulmalıdır.

Bilek uzanma mesafesi: Robotun çalışma zarfı içerisinde ulaşabileceği en uzun mesafeyi ifade etmektedir. Fonksiyonel bilgi sahasında, robotun işin gerçekleştirilmesi için gerekli çalışma alanında faaliyet göstermesinin sağlanmasına karşılık gelmektedir. Robotun uzuvlarının uzunluğu alanı belirlemekte olup, bu alan içerisinde yer alan her noktaya robot kolu uç elemanının erişimi sağlanmaktadır. Bu sebepten dolayı *kontrol edilebilir değişken* olarak tespit edilmiştir. İşlerin bu ölçütten de dolayı gerçekleştirilememesi durumu kabul edilemeyeceğinden önkoşul olarak kabul edilmiştir.

6.2.2 Sayısal ölçütler

Sayısal ölçütler, I. aşamada filtreme sürecinden geçen alternatiflerin değerlendirilmesi için bilgi içeriklerinin hesaplanacağı ölçütlerdir. Yukarıda bahsedilen kavram farklılıklarından dolayı; ölçütler, *kontrol edilebilir ölçütler* veya *kontrol edilemeyen ölçütler* olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

Robotların tasarım parametrelerinden bazıları, robotların programlanabilir yapıları nedeniyle belirli alt ve üst sınırlar içerisinde istenilen değerleri alabilmektedir. Yapılacak işin niteliğine göre bu alt ve üst sınırlar arasında istenilen hedefe kesin olarak ulaşılabilir. Bu da bu sınır değerler arasında robotun işi başarma olasılığının bir olması anlamını taşımaktadır. Robotun bu ölçütler açısından belirli aralıkta ayarlanabilir ve programlanabilir olması sebebiyle bu ölçütler, kontrol edilebilir ölçütler olarak isimlendirilmiştir. Robot tedarikçilerinin sunduğu robot kolunun çalışabilir aralığı, yani programlanabildiği aralık sistem aralığı olarak tanımlanmıştır. Belirli bir ölçüt açısından, robot müşterisi tarafından robot kolunun çalışmasının istendiği (hangi aralıkta programlanabildiği veya ayarlanabildiği) aralık, tasarım aralığı olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşıma göre; robot müşterisine işlerin bir dağılımdan rassal olarak geldiği varsayılır, bu dağılım da robotun tasarım aralığını oluşturur. Çalışmada tasarım aralığının düzgün dağılımdan geldiği varsayılmıştır.

Hız: Uygulamanın özelliğine göre her bir eksene ait hız önemli hale gelmektedir. Robot firmaları, kullanıcılara maksimum hızı sunmaktadırlar. Hızın, programlanabilir bir ölçüt olmasından dolayı, robot kolu eksenleri maksimum hız altındaki tüm değerlerde çalışabilmek yeteneğine sahiptir. Bu yüzden belirli sınır değerler arası kontrol edilebilir bir ölçüttür. Bu sınır değerler, robotun sistem aralığını temsil etmektedir. Tasarım aralığı ise, gerçekleştirilecek işin alacağı hız aralığının dağılımıdır ve düzgün dağılıma sahip olduğu varsayılmıştır. Değerlendirmede dikkate alınması gereken önemli bir konu da eksenlerin hızlarının ortak birimde olmasıdır.

Tekrarlanabilirlik: Fonksiyonel bilgi sahasında robot kolu ucunun titreşim hassasiyeti olarak ifade edilebilecek bu ölçüt, öğrenilen bir noktaya göre tekrarlanan hareketlerinin sonucunda, robot uç noktası ile öğretilen nokta arasında oluşabilecek maksimum hata miktarıdır. Bu ölçüt sistemin yapısı ile ilgili olup *kontrol edilemeyen ölçüt* tanımı ile uyumludur. Tekrarlanan hareketler sonucunda meydana gelen sapma, sistem aralığını ifade etmektedir. Tasarım aralığı ise kabul edilebilir sapma değerleridir.

Yatırım maliyeti: Robot kolunun, ek donanımsız halinin satın alma maliyetidir. Robot üreticileri tarafından kullanıcılara sunulan tanımı ile *kontrol edilemeyen ölçüt grubuna girer*. Bakım maliyetleri ve değişken maliyetler robot kolları için ayırt edici rol oynamadıklarından dolayı seçim ölçütü olarak ele alınmamışlardır.

Bu ölçütler dışında değişken maliyet, robotun kapladığı alan, robot ayak izi, her bir eksenin erişim mesafesi vb. parametreler de sisteme dahil edilebilir. Bu çalışmada ele alınan sistemden beklenen amaç doğrultusunda; bu değişkenlerin, robot alternatifleri arasında ciddi farklılıklar yaratmayacağı ya da kıyaslamaya gerek duyulmadığı için kapsama dahil edilmemiştir.

6.3 Aksiyomlarla Tasarımın Uygulama Metodolojisi

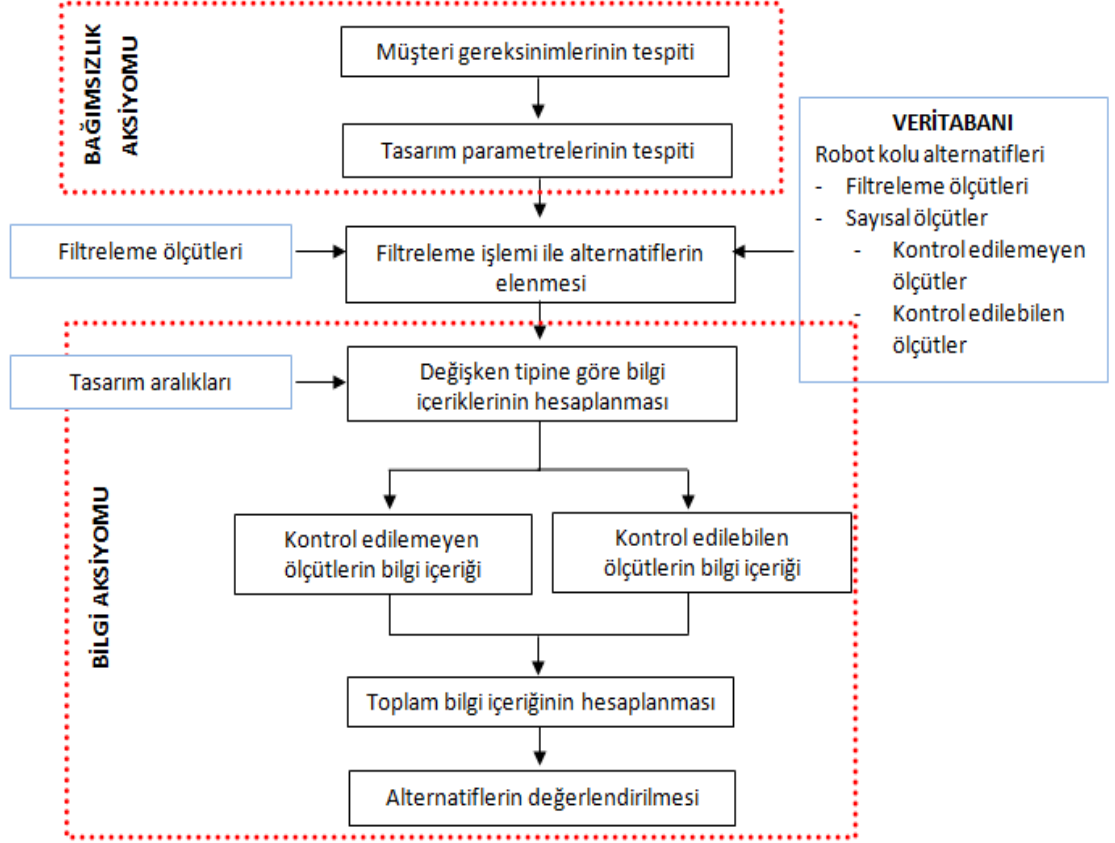
Aksiyomlarla Tasarım yöntemine dayanan endüstriyel robot kolu seçim aşamaları:

- Müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi: Seçim sürecinin ilk basamağı müşterilerin ihtiyacının tespiti ile başlar.
- Fonksiyonel gereksinimlerin (FR) belirlenmesi: Müşterinin belirlediği tasarım hedeflerini tamamını sağlayan, birbirinden bağımsız en az sayıda elemandan oluşan fonksiyonel gereksinim kümesi tanımlanmalıdır. Diğer bir ifade ile Aksiyomlarla Tasarım yönteminin ilk aksiyomu olan bağımsızlık aksiyomunu geçerli kılan FR kümesi belirlenmelidir. Bu fonksiyonel gereksinim kümesi; ürünlerin taşınabilmesi, çalışma zarfı içerisindeki noktalara erişebilmesi, işin hedeflenen sürede yapılması, işin istenen kalitede gerçekleştirilmesi, robotun dayanıklı olması ve robotun düşük maliyetle olması gibi elemanları içerir. Bu fonksiyonel gereksinim kümesinin elemanları birbirinden fonksiyonel olarak bağımsızdır.

- Tasarım parametrelerinin (DP) tespiti: Fonksiyonel bilgi sahasındaki FR'lere karşılık gelen tasarım parametreleri belirlenmelidir. Tez çalışmasında, literatürde yer alan endüstriyel robot seçimi çalışmalarından ve robot firması ile yapılan derinlemesine mülakatlardan elde edilen sonuçlara göre tasarım parametreleri bir önceki konu başlığında da anlatıldığı gibi: nominal taşıma kapasitesi, bilek uzanma mesafesi, eksenler bazında hız, tekrarlanabilirlik ve maliyet olarak belirlenmiştir. Bu tasarım parametreleri birbirini etkilemeyen fonksiyonel gereksinimler dikkate alınarak belirlenmiştir.
- Tasarım parametrelerinin sınıflandırılması: Değerlendirme sürecinde önkoşul niteliği taşıyan veya ifadeyi yapıda olan tasarım parametreleri filtreleme ölçütleri, ödünleşmeye izin verilen tasarım parametreleri de sayısal ölçüt olarak olarak gruplandırılmıştır.
- Veritabanını hazırlanması: Seçim sürecini hızlandırma amacı ile kullanılan KDS'nin bileşeni olan veritabanının modele uygun olarak biçimlendirilmesi gerekmektedir.
- Tasarım özelliklerinin ve tasarım aralığının belirlenmesi: Robot kolunda tasarımcının veya karar vericinin beklediği özellikler ve hedeflediği tasarım aralıkları arayüz yardımı ile karar destek sistemine aktarılmaktadır.
- Değerlendirme sürecinin başlaması: Karar Destek Sisteminin çıkarım mekanizması yardımıyla tasarımcının belirlediği özellikler ve tasarım aralıkları doğrultusunda, veritabanı içerisinde yer alan robot kolu alternatifleri analiz edilmektedir.
- Filtreleme süreci: Filtreleme ölçütlerden yararlanılarak istenmeyen robot kolu alternatifleri elenmektedir.
- Bilgi içeriklerinin hesaplanması: Eleme sürecinden sonra geri kalan robot kolu alternatiflerinin bilgi içerikleri hesaplanmaktadır. Kontrol edilemeyen ölçütlerin bilgi içerikleri Suh (2001)'un önermiş olduğu AD ile hesaplanırken, kontrol edilebilen ölçütler ise Helander ve Lin (2002) ayarlanabilir ölçütler için kullandığı AD yaklaşımı kullanılmıştır.
- Alternatiflerin değerlendirilmesi: Her bir robot kolu alternatifinin toplam bilgi içeriği hesaplandıktan sonra AD'nin bilgi aksiyomunun "en düşük bilgi

içeriğine sahip tasarım en iyi tasarımdır” prensibine göre bilgi içeriği en düşük robot kolu seçilmektedir.

Şekil 6.1’de robot kolu seçim metodolojisinin akış şeması sunulmuştur.



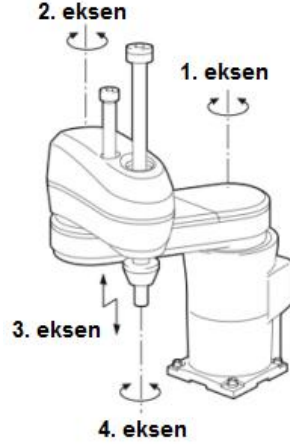
Şekil 6.1: Aksiyomlarla Tasarım yöntemi ile robot kolu seçim metodolojisi.

7. PİLOT UYGULAMA

Bu bölümde, üretim hattı için en uygun robot seçimi amacıyla Aksiyomlarla Tasarım metodunun basit bir örnek üzerinden uygulamasına yer verilecek ve ileriki bölümlerde parametre ve robot kolu alternatifi sayısının fazla olduğu karmaşık problemler konu edinilecektir.

Üretim hattı için şu temel gereksinimlerin olduğu varsayılmıştır:

- Taşınacak ürünün ağırlığı, kavrayıcı elemanın ağırlığı ile beraber 0,3 ile 0,5 kg arası olan yükler robot kolu tarafından taşınması istenmektedir.
- Bağlantı şekli: taban
- İstenilen faaliyetin 4 eksenli Scara konfigürasyona sahip robot kolu tarafından gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.
- Robot kolunun, gelen işler için 100-200 mm arasında çalışması istenmektedir.
- Robotun çeşitli eksenlerdeki istenen hareket hız aralıkları şunlardır:
Eksen 1: 0-500 derece/s
Eksen 2: 0-600 derece/s
Eksen 3: 0-1000 mm/s
Eksen 4: 0-2000 derece/s
- Seçilecek robotun tekrarlanabilirliği: $\pm 0,02$ mm olmalıdır. Bu da robota girilen koordinat doğrultusunda hedeften sapması -0,02 ile 0,02 arası düzgün dağılıma uyacağını ifade eder.
- Robotun ilk yatırım maliyeti için ayrılan bütçe en fazla 15000 Avro'dur.



Şekil 7.1: Scara robot tipi ve eksenleri.

Aralarından seçim yapılacak 3 robot kolu alternatifinin teknik özellikleri Çizelge 7.1’de yer almaktadır. Koruma sınıfı ölçütü bu pilot uygulamada seçim sürecine dahil edilmemiştir.

Robot kolu seçim ölçütleri; Bölüm 6.2’deki sınıflandırma biçimine göre filtreleme, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen ölçütler olarak sınıflandırılmıştır. Robot kollarına ait, ödünleşmeye izin veren her bir tasarım ölçütü için ölçüt tipine göre Denklem 4.11 veya Denklem 4.13’den yararlanılarak bilgi içeriği hesaplanacak ve bu bilgi içerikleri toplanarak, 3 robot kolu için de ayrı ayrı bilgi içeriği puanı bulunacaktır. Aksiyomlarla Tasarımın ikinci aksiyomu olan bilgi aksiyomu gereği, en düşük bilgi içeriğine sahip robot kolu en uygun sistem bileşeni olacaktır.

Şekil 6.1’de ifade edilen robot seçim metodolojisinin filtreleme aşaması uygulandıktan sonra Çizelge 7.1’de yer alan robot kolu alternatiflerinin değerlendirme sürecine devam edilecek ve alternatiflerin bilgi içeriği hesaplanacaktır. Bu çizelgede görülen robot kollarının bilek uzanma mesafesi ve nominal yük taşıma kapasitesi, müşterilerin istediği işi gerçekleştirebilmesi için uygun değer aralığındadır. Eksen sayısı, bağlantı şekli gibi ifadesel ölçütler bakımından da robotlar sürece uygundur.

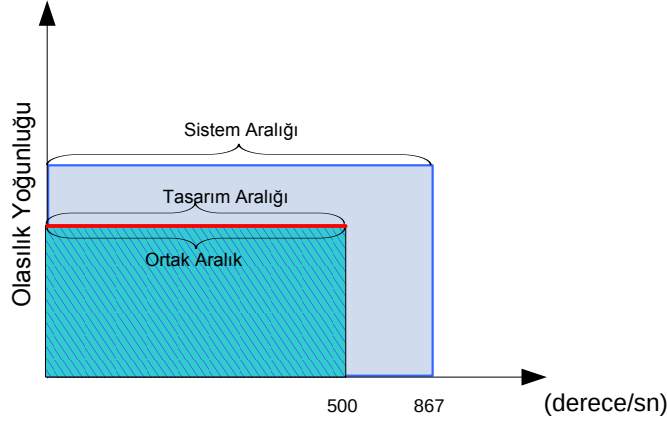
Her bir eksen için çalışma hızı farklı olduğundan her eksene ait bilgi içeriğinin hesaplanması gerekmektedir. Aşağıda eksen 1 ve eksen 3’e ait çalışma hızı kriterine ait bilgi içeriklerinin hesaplama şekli verilmiştir.

Çizelge 7.1: A, B, C robot kollarının fonksiyonel özellikleri ve tasarım gereksinimleri.



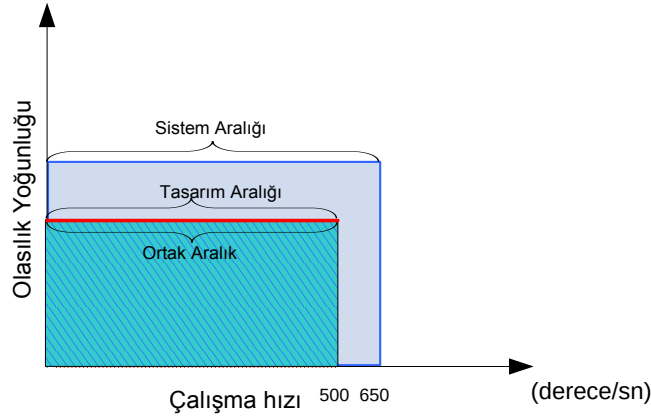
		Birim	A Robotu		B Robotu		C Robotu		Tasarım	
1	Eksen sayısı	-	4 eksen		4 eksen		4 eksen		4 eksen	
2	Tahrik sistemi	-	Elektrik		Elektrik		Elektrik		Elektrik	
3	Hareket kontrol	-	Servo		Servo		Servo		Servo	
4	Bağlantı şekli	-	Taban		Taban/Tavan		Taban/Tavan		Taban	
5	Nominal yük	kg	0	0,5	0	2	0	2	0,3	0,5
6	Bilek uzanma mesafesi	mm	0	220	0	400	0	600	100	200
7	Çalışma hızı eksen 1	derece/sn	0	867	0	650	0	450	0	500
8	Çalışma hızı eksen 2	derece/sn	0	867	0	725	0	520	0	600
9	Çalışma hızı eksen 3	mm/sn	0	580	0	2100	0	2100	0	1000
10	Çalışma hızı eksen 4	derece/sn	0	2500	0	2020	0	2020	0	2000
11	Tekrarlanabilirlik	mm	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,02	0,02
12	Yatırım maliyeti	Avro	12500	13500	14500	15500	19500	20500	0	15000

Robot kolunun eksen 1'deki açısal hızı için istenen tasarım aralığı 0-500 (derece/sn) arası düzgün dağılıma sahip olup, robotun bu aralıktaki işleri gerçekleştirmesi istenmektedir. Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4 sırasıyla A, B, ve C robot kollarının sistem, tasarım ve ortak aralıklarına yer verilmiştir. Bilgi içeriği formülünde yer alan “*” sembolü kontrol edilebilir ölçütün bilgi içeriğini nitelemektedir.



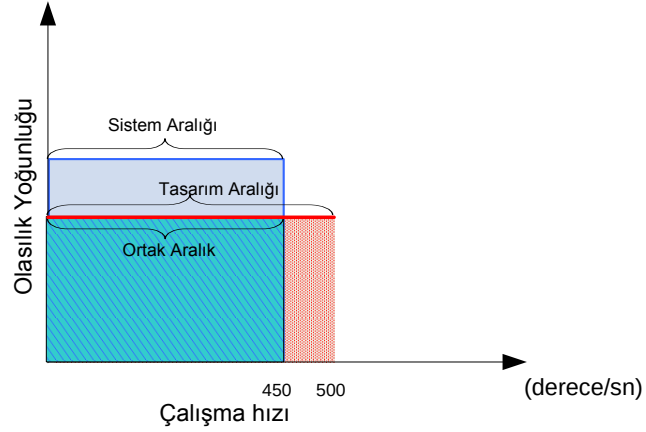
Şekil 7.2: A sistemi eksen 1 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

$$I_{A7}^* = \log_2 \left(\frac{\text{Tasarım aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{500-0}{500-0} \right) = 0$$



Şekil 7.3: B sistemi eksen 1 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

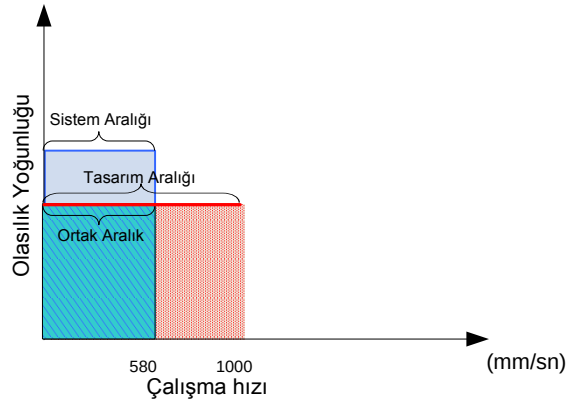
$$I_{B7}^* = \log_2 \left(\frac{\text{Tasarım aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{500-0}{500-0} \right) = 0$$



Şekil 7.4: C sistemi eksen 1 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

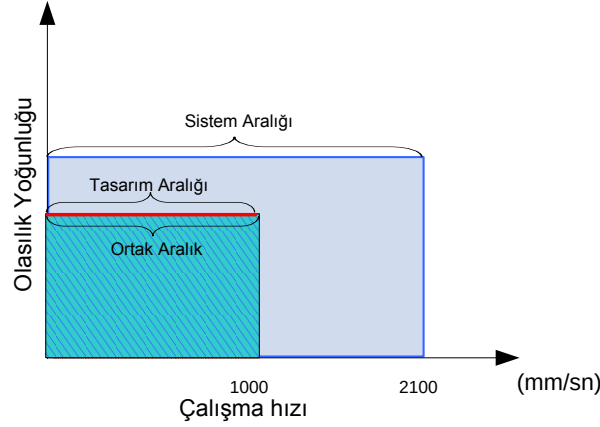
$$I_{C7}^* = \log_2 \left(\frac{\text{Tasarım aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{500-0}{450-0} \right) = 0,15$$

Robot kolunun eksen 3'deki doğrusal hızı için istenen tasarım aralığı 0-1000 (derece/sn) arası düzgün dağılıma sahip olup, robotun bu aralıktaki işleri gerçekleştirmesi istenmektedir. Şekil 7.5, Şekil 7.6 ve Şekil 7.7 sırasıyla A, B ve C robot kollarının sistem, tasarım ve ortak aralıklarına yer verilmiştir.



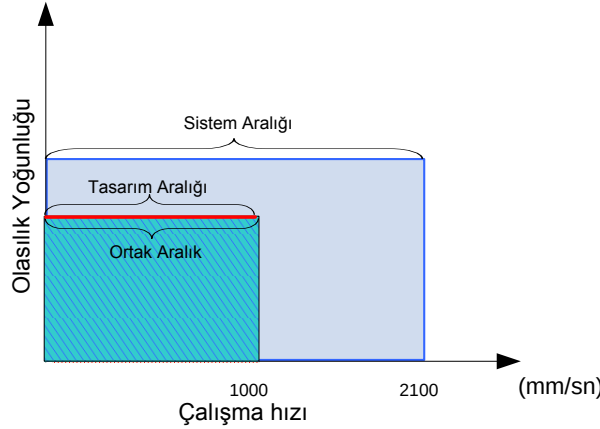
Şekil 7.5: A sistemi eksen 3 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

$$I_{A9}^* = \log_2 \left(\frac{\text{Tasarım aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{1000-0}{580-0} \right) = 0,79$$



Şekil 7.6: B sistemi eksen 3 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

$$I^*_{B9} = \log_2 \left(\frac{\text{Tasarım aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{1000-0}{1000-0} \right) = 0$$

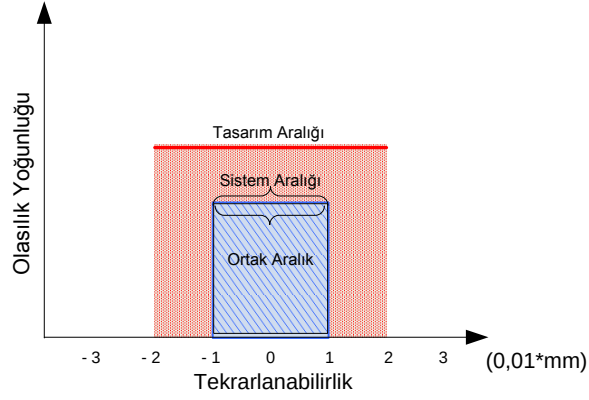


Şekil 7.7: C sistemi eksen 3 çalışma hızı için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

$$I^*_{C9} = \log_2 \left(\frac{\text{Tasarım aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{1000-0}{1000-0} \right) = 0$$

Tekrarlanabilirlik ve maliyet gibi ölçütlerin tasarım aralıkları, tolerans ifadesi ile kabul edilebilir sapma miktarı olarak ifade edildiği için ve kontrol edilemeyen ölçüt olduğu için Suh'un tanımladığı tasarım aralığı kavramı ile örtüşmektedir. Bu sebeple, bu ölçütlerin bilgi içeriğinin hesaplanmasında klasik Aksiyomlarla Tasarım yönteminde kullanılan Denklem 4.11'den yararlanılır.

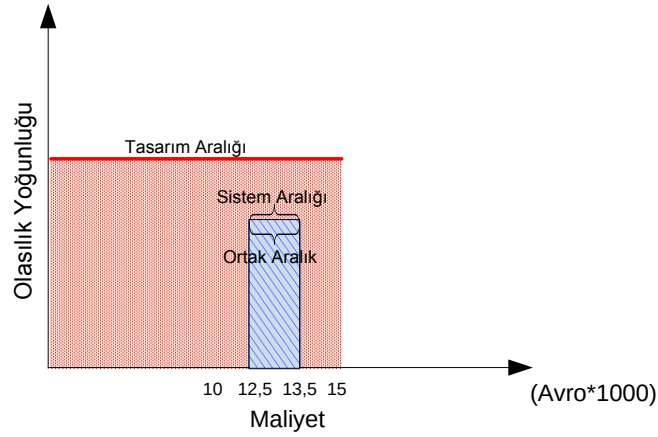
Tekrarlanabilirlik için tasarım aralığı ± 2 mm düzgün dağılıma sahip olduğu durumda A,B ve C sistemlerine ait tasarım ve ortak aralıkları aynı olup, her üç robotun da olasılık yoğunluğunu Şekil 7.8 temsil etmektedir. Her üç sistemde belirlenen tasarım aralıkları içerisinde yer alıp, bilgi içerikleri ideal sıfır değerine eşittir.



Şekil 7.8: A,B ve C sistemi tekrarlanabilirliği için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

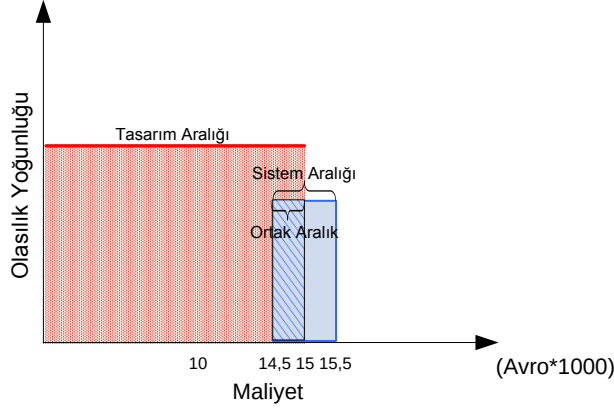
$$I_{A10} = I_{B10} = I_{C10} = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{0,01 - (-0,01)}{0,01 - (-0,01)} \right) = 0$$

Satın alma maliyeti için tasarım aralığı en fazla 15000 Avro olan düzgün dağılıma sahip olduğu durum için A,B ve C sistemlerine ait sistem, tasarım ve ortak aralıkları Şekil 7.9, Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de gösterilmiştir.



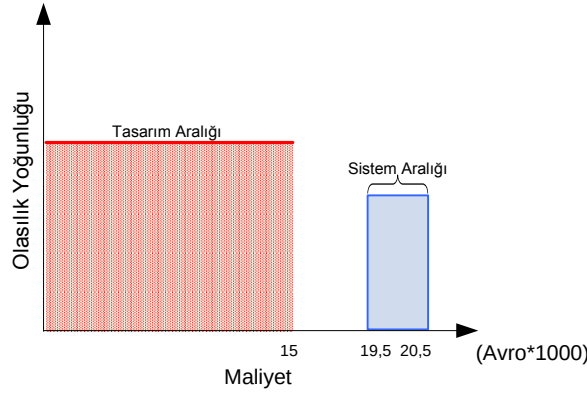
Şekil 7.9: A sistemi maliyeti için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

$$I_{A11} = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{13500 - 12500}{13500 - 12500} \right) = 0$$



Şekil 7.10: B sistemi maliyeti için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

$$I_{B11} = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{15500 - 14500}{15000 - 14500} \right) = 1$$



Şekil 7.11: C sistemi maliyeti için sistem, tasarım ve ortak aralıkları.

$$I_{C11} = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem aralığı}}{\text{Ortak aralık}} \right) = \log_2 \left(\frac{20500 - 19500}{0} \right) = \infty$$

Her bir alternatif için kriterlerin bilgi içerikleri ve bilgi içeriklerinin toplamı, o alternatife ait bilgi içeriğini vermektedir. AD'nin ikinci aksiyomu olan bilgi aksiyomu gereği en düşük bilgi içeriğine sahip alternatif, fonksiyonel gereksinimleri karşılama olasılığı en yüksek alternatif olduğundan uygulama için o robot kolu tercih edilecektir. Bu pilot çalışmada, her bir kriterin bilgi içeriği hesaplanırken işleri gerçekleştirme olasılığı dikkate alındığından;

$$I_{sistem} = \sum I_n^* + \sum I_m, \quad n = 7,8,9,10 \quad m = 11,12$$

n: i. kontrol edilebilir ölçütlere ait bilgi içeriklerini, m: j. kontrol edilemeyen ölçütlere ait bilgi içeriklerini ifade etmektedir.

Çizelge 7.2, Çizelge 7.3 ve Çizelge 7.4’de her bir robotun kriterlerinin bilgi içeriklerine yer verilmiştir.

Çizelge 7.2: A robotunun kriter bazında bilgi içerikleri.

A Robotu				
Parametreler	Tasarım aralığı	Sistem aralığı	Ortak aralık	Bilgi içeriği
Çalışma hızı eksen 1	500	867	500	0,00
Çalışma hızı eksen 2	600	867	600	0,00
Çalışma hızı eksen 3	1000	580	580	0,79
Çalışma hızı eksen 4	2000	2500	2000	0,00
Tekrarlanabilirlik	0,02	0,02	0,02	0,00
Yatırım maliyeti	15000	1000	1000	0,00
TOPLAM BİLGİ İÇERİĞİ				0,79

Çizelge 7.3: B robotunun kriter bazında bilgi içerikleri.

B Robotu				
Parametreler	Tasarım aralığı	Sistem aralığı	Ortak aralık	Bilgi içeriği
Çalışma hızı eksen 1	500	650	500	0,00
Çalışma hızı eksen 2	600	725	600	0,00
Çalışma hızı eksen 3	1000	2100	1000	0,00
Çalışma hızı eksen 4	2000	2020	2000	0,00
Tekrarlanabilirlik	0,02	0,02	0,02	0,00
Yatırım maliyeti	15000	1000	500	1,00
TOPLAM BİLGİ İÇERİĞİ				1,00

Çizelge 7.4: C robotunun kriter bazında bilgi içerikleri.

C Robotu				
Parametreler	Tasarım aralığı	Sistem aralığı	Ortak aralık	Bilgi içeriği
Çalışma hızı eksen 1	500	450	450	0,15
Çalışma hızı eksen 2	600	520	520	0,21
Çalışma hızı eksen 3	1000	2100	1000	0,00
Çalışma hızı eksen 4	2000	2020	2000	0,00
Tekrarlanabilirlik	0,02	0,02	0,02	0,00
Yatırım maliyeti	15000	1000	0	sonsuz
TOPLAM BİLGİ İÇERİĞİ				sonsuz

Çizelge 7.5’de görüldüğü üzere Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu gereği, bilgi içeriği en düşük sistem olan A robot kolu, tasarım ihtiyaçlarını karşılamaya en yakın robot olarak seçilmiştir. C Robot kolu yatırım maliyeti kriterini hiç karşılayamadığından bu kriterlere ait bilgi içeriği sonsuz olarak bulunmuştur. Bu sistemin kesinlikle tasarım gereksinimine cevap vermeyeceği tespit edilmiştir.

Çizelge 7.5: A,B,C robot kollarına ait bilgi içeriklerinin karşılaştırılması.

Parametreler/Robot tipi	Robot kollarına ait bilgi içeriği		
	A Robotu	B Robotu	C Robotu
Çalışma hızı eksen 1	0,00	0,00	0,15
Çalışma hızı eksen 2	0,00	0,00	0,21
Çalışma hızı eksen 3	0,79	0,00	0,00
Çalışma hızı eksen 4	0,00	0,00	0,00
Tekrarlanabilirlik	0,00	0,00	0,00
Yatırım maliyeti	0,00	1,00	sonsuz
TOPLAM BİLGİ İÇERİĞİ	0,79	1,00	sonsuz

8. GIDA SEKTÖRÜ UYGULAMASI

Çalışma kapsamında gıda sanayinde faaliyet gösteren bir firmanın üretim hattı için robot kolu seçim problemi ele alınmıştır. Firma ile ilgili bilgilere, bu firmanın robot kolu tedarikçisi olan X firması yetkilileri ile yapılan görüşmeler ve ilgili dokümanlar aracılığı ile ulaşılmıştır. Robot kolu firması yetkilileri ile yapılan derinlemesine mülakatlar sonucu üretim sistemine uygun robot kolunun belirlenme süreci betimlenmeye çalışılmış ve bu karar verme sürecini iyileştirmek amacıyla Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu prensibine dayalı karar destek sistemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Robot tedarikçisi, müşteri talep, ihtiyaç ve kısıtlarını belirlemek için müşterinin yatırım amacı, kapasitesi, ürün yapısı, üretilecek adedi, mevcut çevrim süresi, çevre şartları, imalat sisteminin yapısı, tesis yerleşim planı vb. bilgileri toplayıp analiz ettikten sonra robot tasarım sürecini başlatmaktadır. Robot sistemlerinin bileşenlerinin modüler yapıda olması sebebiyle robot sistemleri tasarımı gerçekleştirilirken hali hazırda mevcut robot kolu alternatiflerinden yararlanılmaktadır. Modüler yapıların entegrasyonu ve çevre ekipmanlar ile uyumlaştırılması ile sistem tasarımı yapılmaktadır. Müşteri gereksinimine göre uygun robot kolu alternatifi seçilerek robot bileşenlerinin birbiri ile uyumu, dış çevre ile uyumu, programlaması gibi robot tasarımı süreci aşamalarının gerçekleştirilmesi için ilgili robot kolu simülasyon testi ile teknik analizlere tabi tutulur. Bahsedilen bu süreçte simülasyon testine alınacak robot kolunun seçimi, sezgisel olarak gerçekleştirilmektedir. Bu aşama, çalışmamızda robot kolu ön seçimi olarak isimlendirilmiştir. Robot kolu ön seçim sürecinde, alternatif seçimini daha sistematik hale getirmek için Aksiyomlarla Tasarım metoduna dayanan karar destek sistemi önerisinde bulunulmuştur. Bu yöntem sayesinde, karar verme sürecinin bilimsel yönetime dayanması sayesinde robot tasarım sürecinin hızlanacağı ve daha etkin karar vermenin sağlanacağı düşünülmektedir. Zamanın ve müşteri memnuniyetinin önemli bir yer tuttuğu endüstride, bu yaklaşım sayesinde simülasyona alınacak robot kolunun sundukları özelliklerin, ön tasarım aşamasında müşterinin gereksinimine yakın olması sağlanacak ve sürecin sonraki adımları etkin bir şekilde

yönetilebilecektir. Bu aşamada yanlış alternatifi seçilmesi, sonraki adımlarda robotun programlamasını ve mevcut üretim sistemine uyumlaştırılmasını zorlaştıracığı gibi, başarısız projelere de sebep olabilmektedir. Özetle bu yaklaşımın amacı, robot sistemi tasarımında robot kolu ön seçimi için etkin karar vermeyi sağlamaktır.

Bu çalışmada yer alan müşteri konumundaki firma, meyve suyu üretimini gerçekleştirmekte olup, meyve suyu üretimi gerçekleştikten sonra ambalajlanmış ürünlerini koliler halinde dağıtıcı firmalarına göndermektedir. Ambalajlanmış ürünleri, çeşitli gruplar halinde paketleme işlemi olan “alıp yerleştirme” uygulaması için robotlardan yararlanmayı düşünmektedir. Şekil 8.1’de bu uygulamanın yer aldığı örnek gösterilmiştir.



Şekil 8.1: Gıda sektöründe “alıp yerleştirme” uygulaması örneği.

Robot sistemine geçilmeden önceki durumda karton kutular insan gücü ile hazırlanmakta ve meyve suları hazırlanmış olan bu karton kutulara, meyve suları ambalaj boyutlarına göre 8’er ya da 16’şarlı gruplar halinde yerleştirilmektedir. Firma, boyut ve çeşidine göre yaklaşık 200 ml ile 2 lt (~250 g ile 2.5 kg) arası ürün üretmektedir. Bu sebeple seçilecek robot bu ağırlıklardaki ürünleri taşıyabilecek kapasitede olmalıdır. Robotun taşıma kapasitesi belirlenirken robot uç elemanlarının ağırlıkları da taşınacak ürünün ağırlığı ile birlikte dikkate alınmalıdır. Robot uç elemanları kavrayıcı ve algılayıcılardan oluşmaktadır. Uç elemanlarının ağırlığının yaklaşık 1-1,5 kg olduğu varsayıldığında robotun nominal yük kapasitesinin en az 4 kg olması istenmektedir. Bu kapasitenin altındaki hiçbir robotun seçilmesi istenmez. Bu sebeple filtreleme ölçütü olarak KDS’de değerlendirilecektir.

Üretici firma tarafından, ürünlerin konveyörden yatay olarak geldiği, fakat bunların kutulara dik konumda yerleştirilmesi istendiğinden döndürme hareketi gerektirmektedir. Bu sebeple de robot firması yetkileri bu işin 6 eksenli robotun tarafından yapılabilineceğini kararlaştırmışlardır.

Paketleme sürecinde düz kartonlar konveyör hattında yan kapaklar yardımıyla bükülmekte ve robot kolu, ürünleri yerleştirmekte ve konveyör hattı ilerleyerek karton kutunun üstü kapatılarak, ambalajlanmaktadır. Dolayısıyla; kartonların hazırlanması daha önceden mevcut olan konveyör hattı üzerinden otomatik olarak gerçekleştirildiğinden bu çalışma kapsamında çevre ekipmanların tasarımı göz ardı edilip sadece robot kolu seçimine ve onun bu konveyör hat ile uyumuna odaklanılmıştır.

Tesis yeri düşünüldüğünde alan yetersizliği nedeniyle robotun tavan montajlı olmasının daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Ürünlerin geldiği konveyör hattından, paketlenmenin yapılacağı konveyör hattına uzaklık dikkate alınarak; robotun erişim mesafesinin 0-600 mm olması, istenen işin gerçekleştirilmesi açısından önkoşuldur.

Robot kolu güvenliği için toza karşı tam koruma, sıvıya karşı koruma sağlayan IP65 koruma sınıfı tercih edilecektir.

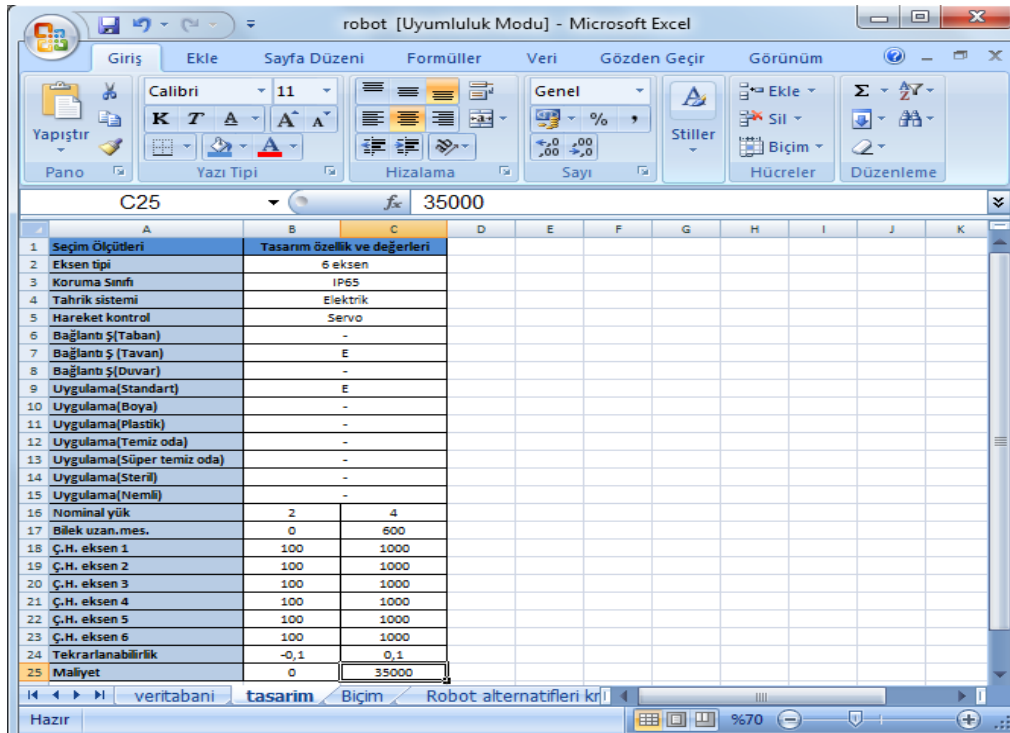
Paketleme uygulaması için robot kolunun çevrim süresi büyük önem taşımaktadır. Çevrim süresi hesaplanırken robot kolunun rotası dikkate alınarak bileşke hız kullanılmaktadır. Bileşke hızın her bir robot kolu için bu aşamada saptanması zor olduğundan her bir eksenin ayrı ayrı hızı için tasarım aralığı, tecrübelerden yararlanılarak belirlenmesi düşünülmüştür. Her bir eksenin çalışma hızı Çizelge 8.1’de yer almaktadır.

Robotun değişken maliyeti olan bakım ve operasyon maliyetleri robot alternatifleri arasında bir farklılık yaratmamasından dolayı bu çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

Çizelge 8.1: Robot kolu Tasarım özellikleri ve tasarım aralığı.

Tasarım Parametreleri	Birim	Tasarım Özellikleri ve Aralığı	
Eksen Sayısı	-	6 eksen	
Koruma Sınıfı	-	IP65	
Tahrik Sistemi	-	Elektrik	
Hareket Kontrol	-	Servo	
Bağlantı Şekli	-	Tavan	
Uygulama Şekli	-	Standart	
Nominal Yük	kg	2	4
Bilek Uzanma Mesafesi	mm	0	600
Çalışma Hızı (Eksen 1)	derece/sn	100	1000
Çalışma Hızı (Eksen 2)	derece/sn	100	1000
Çalışma Hızı (Eksen 3)	derece/sn	100	1000
Çalışma Hızı (Eksen 4)	derece/sn	100	1000
Çalışma Hızı (Eksen 5)	derece/sn	100	1000
Çalışma Hızı (Eksen 6)	derece/sn	100	1000
Tekrarlanabilirlik	mm	-0,1	0,1
İlk Yatırım Maliyeti	avro	0	35000

Robot tedarikçilerin yukarıda bahsedilen tasarım özellikleri ve tasarım aralıklarını gireceği, Microsoft Office Excel 2003 programında hazırlanmış karar destek sistemi arayüzüne Şekil 8.2’de yer verilmiştir. Tasarlanan yazılım yardımıyla bu ölçütlerden yararlanılarak filtreleme ve bilgi içeriği hesaplama işlemi gerçekleştirilmektedir.



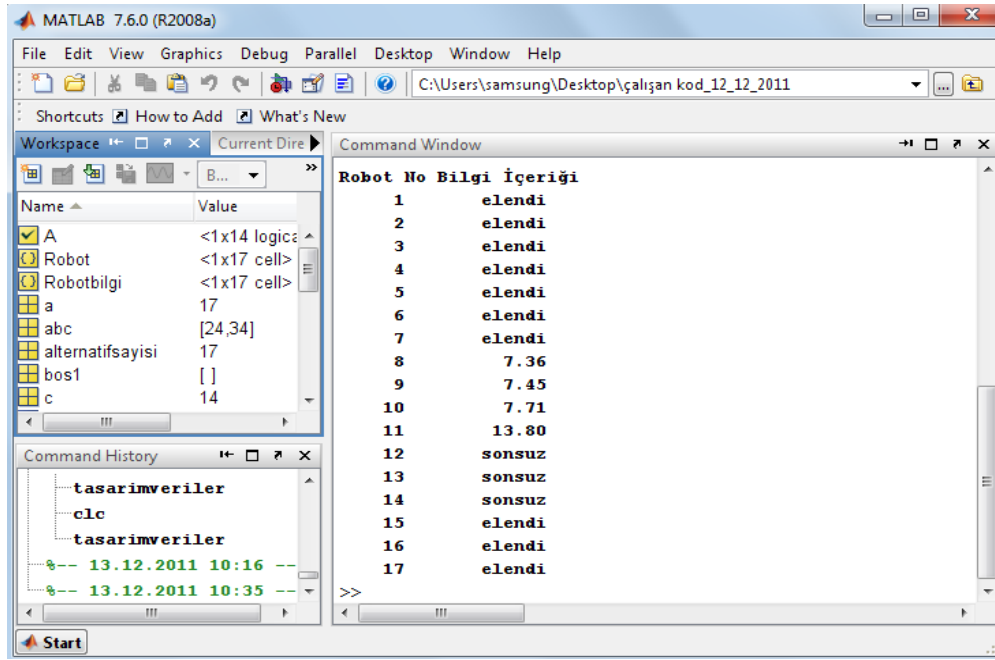
Şekil 8.2: Tasarım özellikleri ve tasarım aralıklarının girildiği KDS arayüzü.

X firması tarafından sunulan ürün yelpazesinde 17 standart robot kolu, bu seçim sürecine dahil edilmiştir. Özel amaçlı birkaç robot kolu dışında; bu standart robot kollar, modifikasyon ile özel uygulamalara uyarlanmaktadır. Robot firmasına ait bu ürün yelpazesi Ek A.1’de sunulmuştur. Bu ürünlere ait özellikler, filtreleme ölçütleri ve sistem aralıkları, Microsoft Excel 2003 programına karar destek sisteminin veritabanını oluşturacak şekilde işlenmiştir. Bu veritabanı güncellenebilir nitelikte olup, eklenecek yeni alternatifler algoritma tarafından değerlendirmeye alınacaktır. Şekil 8.3’de veritabanında bir kesit sunulmuştur.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Eksen tipi	4 eksen	4 eksen	4 eksen	4 eksen	6 eksen	6 eksen	6 eksen
Koruma Sınıfı	IP10	IP54	IP54	IP54	IP65	IP65	IP65
Tahrik sistemi	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Elektrik
Hareket kontrol	Servo	Servo	Servo	Servo	Servo	Servo	Servo
Bağlantı şekli (Taban)	E	E	E	E	E	E	E
Bağlantı şekli (Tavan)	H	E	E	E	E	E	E
Bağlantı şekli (Duvar)	H	H	H	H	E	E	E
Uygulama(Standart)	E	E	E	E	E	E	E
Uygulama(Boye)	H	H	H	H	H	H	H
Uygulama(Plastik)	H	H	H	H	E	E	E
Uygulama(Temiz oda)	H	H	H	H	E	E	E
Uygulama(Süper temiz oda)	H	H	H	H	E	E	E
Uygulama(Steril)	H	H	H	H	E	E	E
Uygulama(Nemli)	H	H	H	H	E	E	E
Nominal yük	0	0,5	0	2	0	1,7	0
Bilek uzunluğu mesafesi	0	220	0	400	0	600	0
Çalışma hızı eksen 1	0	867	0	650	0	450	0
Çalışma hızı eksen 2	0	867	0	725	0	520	0

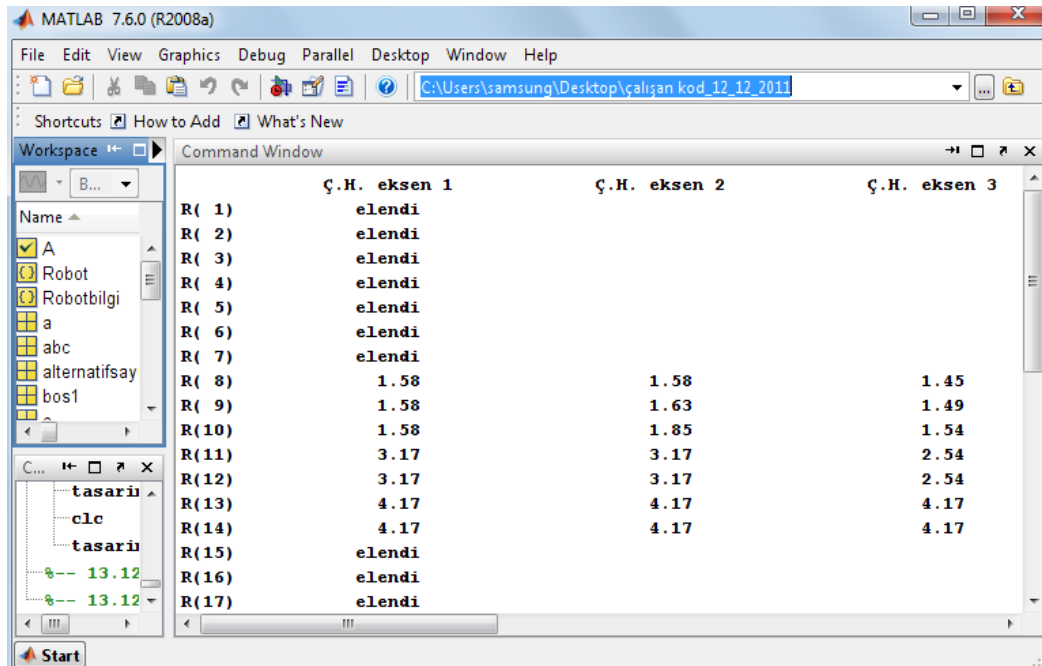
Şekil 8.3: KDS veritabanından bir kesit.

Her bir robot kolu Şekil 6’daki robot kolu seçim algoritmasına dayanan karar destek sisteminden yararlanılarak değerlendirilmiştir. Bu karar destek sistemi, MATLAB programında tasarlanan yazılım sistemi ile desteklenmiştir. Ek B.1’den yazılım kodlarına ulaşılabilir. Robot seçim algoritmasına dayanan bu yazılım yardımıyla; filtreleme değişkenlerine göre robot elemesi gerçekleştirilmekte ve elemeyi geçen robot kolu alternatiflerinin, tasarım aralığına göre bilgi içerikleri hesaplanmakta ve en düşük bilgi içeriğine sahip robot kolu seçimi yapılarak, simülasyon testine alınmaktadır. Şekil 8.4’de değerlendirme sonuçlarının sunulduğu arayüze yer verilmiştir. Filtreleme aşamasından geçemeyen robot kollar, “elendi” ifadesi ile belirtilmiştir, diğer robotların bilgi içerikleri hesaplanıp sunulmuştur.



Şekil 8.4: Robot kolu alternatiflerinin bilgi içeriği – MATLAB programı ara yüzü.

KDS yardımıyla alternatiflerin her bir seçim ölçütüne ait bilgi içeriği de incelenebilmektedir. Şekil 8.5’deki kriter bazında bilgi içeriği raporu yardımıyla hangi ölçütlerin yeterli düzeyde karşılanamadığının analizi yapılabilmektedir.



Şekil 8.5: Kriter bazında bilgi içeriği – MATLAB programı ara yüzü örneği.

Bilgi aksiyomuna dayanan karar destek sisteminden elde edilen robot kolu alternatiflerine ait bilgi içeriği sonuçları Çizelge 8.2’de sunulmuştur.

R1, R2, R3, R4 robotları eksen sayısı, koruma sınıfı gibi ölçütleri sağlamaması; R5, R6, R7 robotları taşıma kapasitesi ve/veya erişim mesafesi gibi ölçütleri sağlamaması; R15, R16, R17 robotları, bağlantı şekillerinin tavan bağlantısını içermemesi sebebiyle elenmişlerdir. Bu sebeple bilgi içerikleri hesaplanmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Değerlendirme sürecinin erken adımında devre dışı bırakılmıştır.

R8-R9-...-R14 robot kollarının bilgi içerikleri hesaplanmış olup, tasarım aralığını karşılamayan R12-R13-R14 robotlarının bilgi içerikleri sonsuz olarak hesaplanmıştır. Tasarım aralığının karşılanmadığı tasarım parametreleri Çizelge 8.2'den incelenebilir. R8-R9-R10-R11 robot kolu alternatifleri, fonksiyonel gereksinimleri karşılayacak tasarım aralıklarını tamamen ya da kısmen sağladıkları için bilgi içerikleri sayısal bir değer almışlardır. "0" tam sayısı, sistem aralığının tasarım aralığını tamamen karşıladığına işaret etmektedir. Diğer bir ifade ile, hedeflenen tasarım aralığı yüzde yüz olarak başarılabilmektedir. Her bir alternatife ait toplam bilgi içeriğine, parametrelerin bilgi içerikleri toplanarak ulaşılmıştır. Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu prensibi gereği en düşük bilgi içeriğine sahip alternatif, en iyi alternatif olduğu için 7,36 skoruyla R8 robot kolu, robot sistemi tasarım aşamasına dahil edilecektir. Bu robot kolu simülasyon testine sokulup çevrim süresi belirlenecek ve robotun süreç için uygunluğu onaylandıktan sonra gerekli robot sayısı belirlenecektir.

Çizelge 8.2: Filtrelemeden geçen robot kollarının kriter bazında bilgi içerikleri.

	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Çalışma Hızı (Eksen 1)	1,58	1,58	1,58	3,17	3,17	4,17	4,17
Çalışma Hızı (Eksen 2)	1,58	1,63	1,85	3,17	3,17	4,17	4,17
Çalışma Hızı (Eksen 3)	1,45	1,49	1,54	2,54	2,54	4,17	4,17
Çalışma Hızı (Eksen 4)	1,03	1,03	1,03	2,07	2,07	2,49	2,49
Çalışma Hızı (Eksen 5)	1,26	1,26	1,26	1,63	1,63	2,49	2,49
Çalışma Hızı (Eksen 6)	0,45	0,45	0,45	0,23	0,23	1,58	1,58
Tekrarlanabilirlik	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
İlk Yatırım Maliyeti	0,00	0,00	0,00	1,00	sonsuz	sonsuz	sonsuz
TOPLAM BİLGİ İÇERİĞİ	7,36	7,45	7,71	13,80	sonsuz	sonsuz	sonsuz



Şekil 8.6: R8 robot kolu.

Aksiyomlarla Tasarım metodolojisine dayanan karar destek sistemi yardımıyla belirlenen R8 robot kolu alternatifinin özelliklerine Çizelge 8.3’de yer verilmiştir. 6 eksenli olan bu robot kolu Şekil 8.6’de görüldüğü gibi kapalı yapısı sayesinde temizlemesi kolay ve temiz süreç gerektiren işlerde kullanılabilecek bir kabiliyete sahiptir. Taban, tavan ve duvar bağlantısını içerdiği için tesislerde istenilen konumlarda montajı yapılabilmektedir. Diğer teknik detaylara Çizelge 8.3’ten ulaşılabilir.

Çizelge 8.3: R8 robot kolunun özellikleri.

Tasarım Parametreleri	Birim	R8 Robot Kolu	
Eksen Sayısı	-	6 eksen	
Koruma Sınıfı	-	IP65	
Tahrik Sistemi	-	Elektrik	
Hareket Kontrol	-	Servo	
Bağlantı Şekli	-	Taban/Tavan/Duvar	
Uygulama Şekli	-	Standart ve diğer tüm özel uygulamalar	
Nominal Yük	kg	0	7
Bilek Uzanma Mesafesi	mm	0	1000
Çalışma Hızı (Eksen 1)	derece/sn	0	400
Çalışma Hızı (Eksen 2)	derece/sn	0	400
Çalışma Hızı (Eksen 3)	derece/sn	0	430
Çalışma Hızı (Eksen 4)	derece/sn	0	540
Çalışma Hızı (Eksen 5)	derece/sn	0	475
Çalışma Hızı (Eksen 6)	derece/sn	0	760
Tekrarlanabilirlik	mm	-0,03	0,03
İlk Yatırım Maliyeti	avro	29500	30500

*Diğer özel uygulama türleri: boya, plastik, temiz oda, süper temiz oda, steril ve nemli ortamı içermektedir.

Robot firması ile yapılan görüşmede, firma yetkilileri gıda firmasındaki bu uygulama için R8 robot kolunu seçtiklerini belirtmişlerdir. Bu beyan, karar destek sisteminin tutarlı bir karar verme sağlaması bakımından önemlidir.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rekabet baskısı ve teknolojik gelişme ile birlikte, üretim sistemleri içerisinde yerini alan endüstriyel robot sistemlerinin tasarımı sürecinde ana aşamalardan biri olan robot kolu seçimi; işletmeye rekabet gücü kazandırması bakımından önemli bir konudur. Bu bağlamda, alternatifler arasından beklentileri en iyi sağlayacak alternatifin seçimi olan karar verme sürecinin etkin ve tutarlı bir şekilde yapılmasının sağlanması için sistematik ve bilimsel bir temele oturtulması yararlı olacaktır. Diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerine göre çeşitli üstünlüklerinden dolayı, karar verme problemlerinin çözüm yöntemlerinden biri olan *Aksiyomlarla Tasarım* (AD) yöntemi, endüstriyel robot kolu seçimi için kullanılmıştır. Aksiyomlarla Tasarım yönteminin ikinci aksiyomu olan bilgi aksiyomu prensibi, fonksiyonel gereksinimler ile ifade edilen tasarım hedeflerinin gerçekleştirilme olasılığı en yüksek tasarımın seçimine dayanan sayısal bir yaklaşımı içermektedir. Bu çalışma kapsamında AD'nin bu aksiyomu endüstriyel robot kolu seçim sürecine uyarlanarak uygulanmıştır. Bu tez çalışması ile literatüre yapılan katkılar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Yapılan Aksiyomlarla Tasarım literatür taraması ile çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümü için bilgi aksiyomunun bağımsızlık aksiyomuna göre çok daha fazla tercih edildiği sonucuna varılmıştır.
- Robot seçim ölçütlerinin bazılarının Suh (2001)'un önermiş olduğu klasik AD yönteminde kullanılan ölçütlerden kavramsal manada farklı olması sebebiyle, bilgi aksiyomunda yer alan kavramlar, Helander ve Lin (2003)'in çalışmasından da yararlanılarak tekrar tanımlanmış ve alternatiflere ait bilgi içerikleri hesaplanmıştır. Endüstriyel robot kolu seçim ölçütleri, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen ölçütler olarak tanımlanmıştır. Endüstriyel robot kolu seçim süreci için Aksiyomlarla Tasarıma dayanan bir metodoloji sunulmuştur.
- Endüstriyel robot kolu için sunulan bu metodolojiyi içeren karar destek sistemi oluşturulmuştur.

- Geliştirilen karar destek sistemi, gıda sektöründe paketleme için “alıp yerleştirme” işlemini gerçekleştirecek robot kolu ön seçim sürecine uygulanmıştır. Bu uygulama, ön seçim sürecinde kullanılan sezgisel yöntemle ikame niteliğindedir.

Çalışma kapsamında uygulanan Aksiyomlarla Tasarıma dayanan metodolojinin kazanımları şunlardır:

- Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu; istenen tasarım aralıklarını sağlayan tasarımının seçilmesi prensibine ve hedeflenen fonksiyonel gereksinimlerin başarıma olasılığına dayanması sebebiyle tasarım aralığı ve sistem aralığı kavramı tekrar tanımlanarak kontrol edilebilen ölçütler için de bilgi içeriklerinin hesaplanması sağlanmıştır. Böylece kontrol edilebilen ölçütler ile kontrol edilemeyen ölçütlerin birlikte yer aldığı bir değerlendirme metodolojisi elde edilmiştir.
- Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu, geliştirilen metodoloji ile birlikte mevcut uygulama alanlarından farklı bir alan olan robot kolu seçim uygulamasına yer verilmiştir.
- Robot sistemi tasarımı sürecinin robot kolu ön seçim aşamasında sezgisel seçim metodu yerine Aksiyomlarla Tasarıma dayanan bir yaklaşımın kullanılmasının daha tutarlı ve etkin karar vermeyi sağladığı düşünülmektedir. Bu sayede yanlış alternatif seçiminin yaratacağı zaman, maliyet ve firma imajı kaybının önüne geçilecektir.
- Metodolojide yer alan filtreleme aşaması sayesinde kabul edilebilir robot alternatifleri değerlendirilecek ve sadece elemeyen geçen robot kollarının bilgi içeriği hesaplanacağı için seçim süreci hızlanacaktır.
- Aksiyomlarla Tasarımın bilgi aksiyomu gereği, herhangi bir kriterin tasarım aralığının karşılanamaması durumunda alternatifin reddedilmesini sağlaması sayesinde müşteri ihtiyaçlarına cevap vermeyecek robot kolları elenecektir.
- Geliştirilen karar destek sistemi, müşterilerin robot sisteminden beklentilerine göre robot alternatiflerini süzecek ve endüstriyel robot kolları arasından en iyi alternatifin seçiminde karar vericiye destek sağlayacaktır. Bu sistem yardımıyla robot kolu seçimi kısa sürede gerçekleştirilecektir.
- Karar destek sisteminin veri işleme ve analiz kapasitesinin yüksek olması ve Aksiyomlarla Tasarımda alternatif sayısı ile değerlendirme ölçütü sayısındaki

artışın işlem adım sayısını çok fazla artırmaması sebebiyle çok fazla sayıda robot kolu alternatifi hızlı bir şekilde değerlendirilebilmektedir.

- Karar destek sisteminin kullandığı çıkarım mekanizmasından, farklı alanlarda kullanılacak robot kolu seçimi için de yararlanılabilinecektir.

Gelecek çalışmalarda, robot kolu seçim ölçütleri genişletilebilir ve robot kolu bileşenleri detaylandırılarak özel amaçlı uygulamaları da kapsayacak şekilde seçim süreci ele alınabilir. Örneğin; denetleyici, eyleyici vb. robot kolu bileşenlerinin de alt seçim ölçütleri de bağımsızlık aksiyomundan yararlanılarak belirlenip, seçim sürecine dahil edilebilir. Çalışmada, sistem aralığı ve tasarım aralığı değerlerinin düzgün dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Analizler yardımıyla ölçütlerin değerlerinin hangi dağılıma uyduğu tespit edilmesi karar verme sürecinde tutarlılığı artıracakı düşünülmektedir. Aksiyomlarla Tasarım kalitatif ölçütler ile kantitatif ölçütleri birlikte değerlendirme sürecine alabilen yöntem olması sebebiyle kalitatif ölçütler de robot kolunda değerlendirmeye alınabilir. Ayrıca, karar destek sistemi de geliştirilerek mevcut karar destek yazılımlarına modül olarak eklenebilir.

KAYNAKLAR

- Akay, D. ve Kulak, O.** (2007). Evaluation of product design concepts using grey-fuzzy information axiom. *International Conference on Grey Systems and Intelligent Services*, 18-20 Kasım 2007, Nanjing, China.
- Akay, D., Kulak, O. ve Henson, B.** (2011). Conceptual design evaluation using interval type-2 fuzzy information axiom. *Computers in Industry*, 62, 138–146.
- Arıkan, M.A.** (t.y.). Endüstriyel robotlar ve üretimde uygulama alanları, Ders Notları, ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü.
- Babic, B.** (1999). Axiomatic design of flexible manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 37 (5), 1159-1173.
- Berkay, A., Şeker, M. ve Esin, E.M.** (2003). Pnömatik robot uygulaması, *EMO Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, 19-21 Eylül 2003, İstanbul.
- Bhangale, P.P., Agrawal, V.P. ve Saha, S.K.** (2004). Attribute based specification, comparison and selection of a robot. *Mechanism and Machine Theory*, 39, 1345–1366.
- Bhattacharya, A., Sarkar, B. ve Mukherjee, S.K.** (2005). Integrating AHP with QFD for robot selection under requirement perspective. *International Journal of Production Research*, 43 (17), 3671-3685.
- Braglia, M. ve Gabbrielli, R.** (2000). Dimensional analysis for investment selection in industrial robots. *International Journal of Production Research*, 38 (18), 4843-4848.
- Braglia, M. ve Petroni, A.** (1999). Evaluating and selecting investments in industrial robots. *International Journal of Production Research*, 37 (18), 4157-4178.
- Can, C.İ.** (2006). Çok kriterli karar verme süreci için bir karar destek sistemi gerçekleştirilmesi ve savunma sanayinde uygulaması (yüksek lisans tezi), Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Çebi, S.** (2010). Aksiyomlarla tasarım esaslı bulanık karar destek sistemi geliştirme ve bir uygulama (doktora tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çebi, S. ve Kahraman, C.** (2010a). Developing a group decision support system based on fuzzy information axiom. *Knowledge-Based Systems*, 23, 3–16.
- Çebi, S. ve Kahraman, C.** (2010b). Extension of axiomatic design principles under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 37, 2682–2689.
- Çebi, S., Çelik, M. ve Kahraman, C.** (2008). Analitik ağ süreci yöntemi üzerine bulanık bilgi aksiyomu açılımı, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20 (1), 5-18.

- Çelik, M.** (2009a). A hybrid design methodology for structuring an Integrated Environmental Management System (IEMS) for shipping business. *Journal of Environmental Management*, 90, 1469-1475.
- Çelik, M.** (2009b). Establishing an integrated process management system (IPMS) in ship management companies, *Expert Systems with Applications*, 36, 8152-8171.
- Çelik, M., Çebi, S., Kahraman, C. ve Er, I.D.** (2009a). An integrated fuzzy QFD model proposal on routing of shipping investment decisions in crude oil tanker market. *Expert Systems with Applications*, 36, 6227-6235.
- Çelik, M., Kahraman, C., Çebi, S. ve Er, I.E.** (2009b). Fuzzy axiomatic design-based performance evaluation model for docking facilities in shipbuilding industry: The case of Turkish shipyards. *Expert Systems with Applications*, 36, 599-615.
- Çengelci, B. ve Çimen H.** (2005). Endüstriyel robotlar. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 69-78.
- Chang, G.A. ve Sims, J.P.** (2005). A case-based reasoning approach to robot selection. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 5-11 Kasım, Orlando, Florida US.
- Chatterjee, P., Athawale, V.M. ve Chakraborty, S.** (2010). Selection of industrial robots using compromise ranking and outranking methods. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26, 483-489.
- Cheng, X. ve Huang, Z.** (2010). A method for applying information axiom to the hybrid multi-attribute alternative evaluation. *International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)*, 26-28 Haziran 2010. TBD Wuhan, China.
- Çiçek, K. ve Çelik, M.** (2010). Multiple attribute decision-making solution to material selection problem based on modified fuzzy axiomatic design-model selection interface algorithm. *Materials and Design*, 31, 2129-2133.
- Coelho, A.M.G. ve Mourao, A.J.F.** (2007). Axiomatic design as support for decision-making in a design for manufacturing context: A case study. *International Journal of Production Economic*, 109, 81-89.
- Ersöz, H.** (2007). *Endüstriyel robotlar ve uygulama alanları* (yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ge, C., Yu, S.H., Chen, D.K. ve Wang, F.** (2008). Study of information axiom in evaluation method of product design scheme. *9th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design (CAID & CD)*, 22-25 Kasım 2008, Kunming University Convention Kunming, China.
- Goh, C.h.** (1997). Analytic hierarchy process for robot selection. *Journal of Manufacturing Systems*, 16 (5), 381-386.
- Gök, G. V. ve Afyon Ç.** (1999). Kaynak uygulamalarında robot teknolojisi, *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, 12-13 Kasım 1999, Ostim, Ankara.

- Helander, M.G. ve Lin, L.** (2002). Axiomatic design in ergonomics and an extension of the information axiom. *Journal of Engineering Design*, 13 (4), 321-339.
- Holsapple, C.W. ve Whinston, A.B.** (1992). Decision support systems, *Handbook Industrial Engineering*, s. 24, John Wiley and Sons, New York.
- Hong, E.P. ve Park, G.J.** (2011). Collaborative design process of large-scale engineering systems using the axiomatic design approach. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 225, 2174-2188.
- Houshmand, M. ve Jamshidnezhad, B.** (2006). An extended model of design process of lean production systems by means of process variables. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22, 1–16.
- Jang, B.S., Yang, Y.S., Yeun, Y.S. ve Do, S.H.** (2002). Axiomatic design approach for marine design problems. *Marine Structures*, 15, 35–56.
- Kahraman, C. ve Çebi, S.** (2009). A new multi-attribute decision making method: Hierarchical fuzzy axiomatic design. *Expert Systems with Applications*, 36, 4848–4861.
- Kahraman, C., Çevik, S., Ateş, N.Y. ve Gülbay, M.** (2007). Fuzzy multi-criteria evaluation of industrial robotic systems. *Computers & Industrial Engineering*, 52, 414-433.
- Kahraman, C., Kaya, I. ve Çebi, S.** (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*, 34, 1603–1616.
- Karsak, E.E.** (1998). A two phase robot selection procedure. *Production Planning & Control*, 9 (7), 675-684.
- Keen, P.G.W ve Scott-Morgon, M.,S.** (1978). *Decision Support System: An organizational perspective*, Adisson-Wesley, Inc. Reading, M.A.
- Kentli, A. ve Kar, A.K.** (2011). A satisfaction function and distance measure based multi-criteria robot selection procedure. *International Journal of Production Research*, 1–12.
- Koca, H., Doğan, M. ve Taplamacıoğlu, M.C.** (2009). Endüstriyel robotların yapıları, kullanım alanları ve market istatistikleri, *Ulusal Elektrik Tesisat Kongresi V. Otomasyon Sempozyumu*, 7-10 Mayıs 2009, İzmir.
- Koren, Y.** (1985). *Robotics for engineers*, s. 45, McGraw-Hill. ISBN 0-07-035399-9.
- Kulak, O.** (2005). A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments. *Expert Systems with Applications*, 29, 310–319.
- Kulak, O. ve Kahraman C.** (2005a). Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process. *Information Sciences*, 170, 191–210.
- Kulak, O. ve Kahraman, C.** (2005b). Multi-attribute comparison of advanced manufacturing systems using fuzzy vs. crisp axiomatic design

approach. *International Journal of Production Economics*, 95, 415–424.

- Kulak, O., Durmuşoğlu, M.B. ve Kahraman, C.** (2005). Fuzzy multi-attribute equipment selection based on information axiom. *Journal of Materials Processing Technology*, 169, 337–345.
- Kumar, R. ve Garg, R.K.** (2010). Optimal selection of robots by using distance based approach method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26, 500–506.
- Liang, S.F.M.** (2007). Applying axiomatic method icon design for process control display. *Meeting Diversity in Ergonomics*, 155-172.
- Lu, J., Zhang, G., Ruan, D., Wu, F.** (2007) *Multi-objective group decision making methods, software and applications with fuzzy set techniques*, s. 32, Imperial Collage Press, Singapore.
- OSHA (Occupational Safety & Health Administration)** (1999). Industrial Robots and Robot System Safety, *OSHA Technical Manual (OTM)*, Washington DC.
- Özel, B. ve Özyörük, B.** (2007). Bulanık aksiyomatik tasarım ile tedarikçi firma seçimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (3), 415-423.
- Parkan, C. ve Wu, M.L.** (1999). Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection. *Computers & Industrial Engineering*, 36, 503-523.
- Rao, R.K. ve Padmanabhan, K.K.** (2006). Selection, identification and comparison of industrial robots using digraph and matrix methods. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22, 373–383.
- Ross, L., Fardo, S., Masterson, J. ve Towers, R.** (2011). *Robotics: Theory and Industrial Applications*, s. 23-58, 2nd Edition, Goodheart-Willcox. ISBN: 978-1-60525-321-3.
- Sabharwal, C.L.** (2009). Robotics HO01_Introduction, Ders Notları. Yayın tarihi: 11.01.2009.
- Sauter, V.L.** (1997). *DSS: An applied managerial approach*, s. 38, John Wiley and Sons, New York.
- Şener, Ç.** (2006). *Karar destek ve üst yönetim bilgi sistemleri ve Türkiye’de bilişim sektöründe bir analiz*, (yüksek lisans tezi), Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Shiakolas, P.S., Conrad, K.L. ve Yih, T.C.** (2002). On the accuracy, repeatability, an degree of influence of kinematics parameters for industrial robots, *International Journal of Modelling and Simulation*, 22 (3).
- Suh, N.P.** (1990). *The principles of design*, s. 1-45. Oxford University Press Inc., New York.
- Suh, N.P.** (2001). *Axiomatic design: advances and applications*, s. 1-59. Oxford University Press, New York.

- Suh, N.P.** (2007). Ergonomics, axiomatic design and complexity theory, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 8 (2), 101-121
- Tang, D., Zhang, G. ve Dai, S.** (2009). Design as integration of axiomatic design and design structure matrix. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25, 610– 619.
- Tian Q., Wang, L. ve Du, Y.** (2009). Study of evaluation method based on information axiom, fuzzy mathematics and gray relational analysis. *10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design (CAID & CD)*, 26-29 Kasım 2009, Wenzhou, China.
- Topçu, İ.** (1995). *Ulaştırma yapılarına uygun su geçişlerinin önerilmesinde uzman sistem yaklaşımı* (yüksek lisans tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yavuz, M.** (2010). *Makine ekipman seçimine aksiyomatik tasarım yaklaşımı* (yüksek lisans tezi), Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yenitepe, R.** (1992). *Robot teknolojisinde kullanılan hidrolik servomekanizmaların incelenmesi* (yüksek lisans tezi), Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- You, H.,** (2011). An approach for supplier selection based on information axiom in supply chain management. *3rd International Workshop on Intelligent Systems and Applications (ISA)*, 28-29 Mayıs 2011, TBD Wuhan, China.
- Yücel, E. ve Aktaş, E.** (2007). An evaluation methodology for ergonomic design of electronic consumer products based on fuzzy axiomatic design. *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 14, 475–493.
- Zachary, W.W.** (1988). Decision support system: Designing to extend the cognitive limits, *in handbook of human-computer interaction*, 997-1013.

EKLER

EK A : Değerlendirilen robot alternatifleri

EK B : MATLAB kodları

EK A

Çizelge A1: Değerlendirilen robot kolu alternatifleri.

	R1		R2		R3		R4		R5		R6	
Eksen tipi	4 eksen		4 eksen		4 eksen		4 eksen		6 eksen		6 eksen	
Koruma Sınıfı	IP10		IP54		IP54		IP54		IP65		IP65	
Tahrik sistemi	Elektrik		Elektrik		Elektrik		Elektrik		Elektrik		Elektrik	
Hareket kontrol	Servo		Servo		Servo		Servo		Servo		Servo	
Bağlantı şekli (Taban)	E		E		E		E		E		E	
Bağlantı şekli (Tavan)	H		E		E		E		E		E	
Bağlantı şekli (Duvar)	H		H		H		H		E		E	
Uygulama(Standart)	E		E		E		E		E		E	
Uygulama(Boya)	H		H		H		H		H		H	
Uygulama(Plastik)	H		H		H		H		E		E	
Uygulama(Temiz oda)	H		H		H		H		E		E	
Uygulama(Süper temiz oda)	H		H		H		H		E		E	
Uygulama(Steril)	H		H		H		H		E		E	
Uygulama(Nemli)	H		H		H		H		H		E	
Nominal yük	0	0,5	0	2	0	2	0	2	0	1,7	0	3,5
Bilek uzanma mesafesi	0	220	0	400	0	600	0	600	0	515	0	670
Çalışma hızı eksen 1	0	867	0	650	0	450	0	450	0	555	0	435
Çalışma hızı eksen 2	0	867	0	725	0	520	0	520	0	475	0	410
Çalışma hızı eksen 3	0	580	0	2100	0	2100	0	2100	0	585	0	540
Çalışma hızı eksen 4	0	2500	0	2020	0	2020	0	2020	0	1035	0	995
Çalışma hızı eksen 5									0	1135	0	1065
Çalışma hızı eksen 6									0	1575	0	1445
Tekrarlanabilirlik	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,02	0,02	-0,02	0,02
Maliyet	12500	13500	14500	15500	17500	18500	19500	20500	22000	23000	25000	26000

Çizelge A1 (devam) : Değerlendirilen robot kolu alternatifleri.

	R7		R8		R9		R10		R11		R12	
Eksen tipi	6 eksen		6 eksen		6 eksen		6 eksen		6 eksen		6 eksen	
Koruma Sınıfı	IP65		IP65		IP65		IP65		IP65		IP65	
Tahrik sistemi	Elektrik		Elektrik		Elektrik		Elektrik		Elektrik		Elektrik	
Hareket kontrol	Servo		Servo		Servo		Servo		Servo		Servo	
Bağlantı şekli (Taban)	E		E		E		E		E		E	
Bağlantı şekli (Tavan)	E		E		E		E		E		E	
Bağlantı şekli (Duvar)	E		E		E		E		H		H	
Uygulama(Standart)	E		E		E		E		E		E	
Uygulama(Boya)	H		E		E		E		E		E	
Uygulama(Plastik)	E		E		E		E		E		E	
Uygulama(Temiz oda)	E		E		E		E		E		E	
Uygulama(Süper temiz oda)	E		E		E		E		H		H	
Uygulama(Steril)	E		E		E		H		H		H	
Uygulama(Nemli)	E		E		E		E		E		E	
Nominal yük	0	2	0	7	0	6	0	5	0	20	0	14
Bilek uzanma mesafesi	0	920	0	1000	0	1200	0	1450	0	1710	0	2010
Çalışma hızı eksen 1	0	435	0	400	0	400	0	400	0	200	0	200
Çalışma hızı eksen 2	0	385	0	400	0	390	0	350	0	200	0	200
Çalışma hızı eksen 3	0	500	0	430	0	420	0	410	0	255	0	255
Çalışma hızı eksen 4	0	995	0	540	0	540	0	540	0	315	0	315
Çalışma hızı eksen 5	0	1065	0	475	0	475	0	475	0	390	0	390
Çalışma hızı eksen 6	0	1445	0	760	0	760	0	760	0	870	0	870
Tekrarlanabilirlik	-0,03	0,03	-0,03	0,03	-0,035	0,035	-0,04	0,04	-0,05	0,05	-0,05	0,05
Maliyet	26000	26500	29500	30500	30000	31000	30500	31500	34500	35500	35500	36500

Çizelge A1 (devam) : Değerlendirilen robot kolu alternatifleri.

	R13		R14		R15		R16		R17	
Eksen tipi	6 eksen		6 eksen		6 eksen		6 eksen		6 eksen	
Koruma Sınıfı	IP65		IP65		IP65		IP65		IP65	
Tahrik sistemi	Elektrik		Elektrik		Elektrik		Elektrik		Elektrik	
Hareket kontrol	Servo		Servo		Servo		Servo		Servo	
Bağlantı şekli (Taban)	E		E		E		E		E	
Bağlantı şekli (Tavan)	E		E		H		H		H	
Bağlantı şekli (Duvar)	H		H		H		H		H	
Uygulama(Standart)	E		E		E		E		E	
Uygulama(Boya)	H		H		H		H		H	
Uygulama(Plastik)	E		E		H		H		H	
Uygulama(Temiz oda)	H		H		H		H		H	
Uygulama(Süper temiz oda)	H		H		H		H		H	
Uygulama(Steril)	H		H		H		H		H	
Uygulama(Nemli)	E		E		H		H		H	
Nominal yük	0	100	0	60	0	130	0	130	0	220
Bilek uzanma mesafesi	0	2194	0	2594	0	2831	0	3210	0	2967
Çalışma hızı eksen 1	0	150	0	150	0	108	0	108	0	85
Çalışma hızı eksen 2	0	150	0	150	0	104	0	104	0	83
Çalışma hızı eksen 3	0	150	0	150	0	110	0	110	0	90
Çalışma hızı eksen 4	0	260	0	260	0	190	0	190	0	150
Çalışma hızı eksen 5	0	260	0	260	0	190	0	190	0	135
Çalışma hızı eksen 6	0	400	0	400	0	230	0	230	0	200
Tekrarlanabilirlik	-0,06	0,06	-0,1	0,1	-0,07	0,07	-0,07	0,07	-0,09	0,09
Maliyet	41500	42500	42500	43500	46500	47500	47500	48500	50000	51000

EK B

```
k='B2:AI25';
[sistemveri,sistemyazi,sistemveriler]=xlsread('robot.xls','veritabani',k);
[tasarimveri,tasarimyazi,tasarimveriler]=xlsread('robot.xls','tasarim','B2:C25');
[bos1,parametreismi]=xlsread('robot.xls','tasarim','A18:A25');

abc=size(sistemveriler);
parametresayisi=abc(1);
alternatifsayisi=abc(2)/2;
k=2;
r=1;

while k/2<=alternatifsayisi %kac tane alternatif varsa

    z=k-1;
    for j=1:2
        for i=1:parametresayisi
            sistem(i,j)=sistemveriler(i,z); %bir alternatif için verileri sisteme atadık
        end
        z=k;
    end
    k=k+2;
    Robot{r}=sistem;
    r=r+1;
end

%Filtreleme işlemi yapılacak

for a=1:r-1 %robot sayisi kadar
    for c=1:14 %ilk 14 parametreye göre filtreleme
        A(c)=strcmp(tasarimveriler(c,1),Robot{a}{c,1}); %Filtreleme ölçütünden geçti
        mi?
    end
    if A(1)+A(2)+A(3)+A(4)==4
        if A(5)+A(6)+A(7)>0 && A(8)+A(9)+A(10)+A(11)+A(12)+A(13)+A(14)>0

            if tasarimveriler{15,2}<=Robot{a}{15,2} &&
            tasarimveriler{16,2}<=Robot{a}{16,2}

[Robotbilgi{a},kriter]=bilgiicerigihesapla1(parametresayisi,tasarimveriler,Robot{a},
a); %Bilgi içeriği hesaplanacak (fonksiyon çağırma)
            kriter_tut{1,a}=kriter;
            else
                Robotbilgi{a}='elendi';
            end

        else
            Robotbilgi{a}='elendi'; %Robot elendi
```

```

        end
    else
        Robotbilgi{a}='elendi';%Robot elendi
    end
end

% Kriterler bazında tablo
for i=1:8
    fprintf(' ')
    fprintf('%23s',parametreismi{i,1})
end
fprintf('\n')

for a=1:r-1
    fprintf('R(%2d)',a)
    if Robotbilgi{a}=='elendi'
        fprintf('      elendi\n')
    else
        fprintf('      %10.2f      ',kriter_tut{1,a})
        fprintf('\n')
    end
end

end
fprintf('\n\n')

% ekrana robotların bilgi icerigini yazdırma

fprintf('Robot No Bilgi İçeriği\n')

for r=1:alternatifsayisi %Toplam bilgi icerigi tablosu'
    %fprintf('%6d %10.2f\n',r,bilgiicerigi(r))
    fprintf('%6d ',r);

    if Robotbilgi{r}>=1000000
        fprintf(' sonsuz\n');
    elseif Robotbilgi{r}=='elendi'
        fprintf(' elendi\n');
    else
        fprintf('%10.2f\n',Robotbilgi{r})
    end
end
end

```

bilgiicerigihesapla1.m file

```

function [y,kriter]=bilgiicerigihesapla1(parametresayisi,tasarimveriler,Robot,r)
tasarim=tasarimveriler;
sistem=Robot;

```

```

toplamlam=0;

if tasarim{1,1}=='6 eksen'
    x=22;
else
    x=20;
end

for i=17:x %her bir kriter icin bilgi icerigi hesabi atamaları: I(i)'ye atama
    if tasarim{i,1}<=sistem{i,1}
        if tasarim{i,2}<=sistem{i,1}
            I(i)=2000000;
        else
            if tasarim{i,2}<=sistem{i,2}
                a=(tasarim{i,2}- tasarim{i,1})/(tasarim{i,2}-sistem{i,1});
                I(i)=log10(a)/log10(2);
            elseif tasarim{i,2}>sistem{i,2}
                a=(tasarim{i,2}- tasarim{i,1})/(sistem{i,2}-sistem{i,1});
                I(i)=log10(a)/log10(2);
            end
        end
    end
else
    if tasarim{i,1}>=sistem{i,2}
        I(i)=2000000; %sifreleme
    else
        if tasarim{i,2}>=sistem{i,2}
            a=(tasarim{i,2}- tasarim{i,1})/(sistem{i,2}-tasarim{i,1});
            I(i)=log10(a)/log10(2);
        else
            a=(tasarim{i,2}- tasarim{i,1})/(tasarim{i,2}-tasarim{i,1});
            I(i)=log10(a)/log10(2);
        end
    end
end
end

for i=23:24
    I(i)=bilgiicerigihesapla(parametresayisi,tasarimveriler,Robot,i);
end

for i=17:24 % bir robot alternatifi icin toplam bilgi iceriginin hesaplanması
    if I(i)==2000000
        toplamlam=1000000;
        kriter(i-16)=1000000;
        %break
    else
        toplamlam= toplamlam+I(i);
        kriter(i-16)=I(i);
    end
end

```

```

end

end
y=toplam; %robotların toplam bilgi icerigini tutma amaçlı
end

```

bilgiicerigihesapla.m file

```

function y=bilgiicerigihesapla(parametresayisi,tasarimveriler,Robot,k)
tasarim=tasarimveriler;
sistem=Robot;
toplam=0;
for i=k %her bir kriter icin bilgi icerigi hesabi atamaları: I(i)'ye atama
    for j=1:2
        if tasarim{i,1}<sistem{i,1}
            if tasarim{i,2}<=sistem{i,1}
                I(i)=20000000; %sifreleme
            else
                if tasarim{i,2}<=sistem{i,2}
                    a=(sistem{i,2}- sistem{i,1})/(tasarim{i,2}-sistem{i,1});
                    I(i)=log10(a)/log10(2);
                elseif tasarim{i,2}>sistem{i,2}
                    I(i)=0;
                end
            end
        end
    else
        if tasarim{i,1}<sistem{i,2}
            if tasarim{i,2}<=sistem{i,2}
                a=(sistem{i,2}-sistem{i,1})/(tasarim{i,2}-tasarim{i,1});
                I(i)=log10(a)/log10(2);
            else
                a=(sistem{i,2}-sistem{i,1})/(sistem{i,2}-tasarim{i,1});
                I(i)=log10(a)/log10(2);
            end
        else
            I(i)=20000000; %sifreleme
        end
    end
end
y=I(i);
end

end

```

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mehmet Çağatay BAHADIR

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa – 30.04.1987

Adres: İTÜ İşletme Fakültesi İşletme Mühendisliği Bölümü Maçka Yerleşkesi
Beşiktaş/İSTANBUL

E-Posta: cagatayba@yahoo.com

Lisans: İTÜ İşletme Mühendisliği

Yüksek Lisans: İTÜ Endüstri Mühendisliği

Mesleki Deneyim: İTÜ İşletme Mühendisliği Bölümü Araş. Gör. (2010-....)