



# IJEDT

MAKÜ

DECEMBER/ARALIK

2024

VOLUME/CİLT 6

ISSUE/SAYI 2

## International Journal of Engineering Design and Technology

Uluslararası Mühendislik  
Tasarım ve Teknoloji Dergisi

BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ

**Mühendislik Mimarlık Fakültesi**

FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

BURDUR MEHMET AKİF ERSOY UNIVERSITY



OPEN  
ACCESS

e-ISSN: 2667-5374

# International Journal of Engineering Design and Technology

Volume / Cilt : 6. Number / Sayı: 2. 2024

## Uluslararası Mühendislik Tasarım ve Teknoloji Dergisi

Published once a year, Yılda bir yayınlanır

### İmtiyaz Sahibi

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi adına

**Prof. Dr. Hüseyin DALGAR**

Rektör

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi adına

**Prof. Dr. Ahmet UYUMAZ**

Dekan

### Editörler Kurulu / Editorial Board

#### Editör / Editor in Chef

**Doç. Dr. Ahmet ÇALIK**

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

#### Alan Editörleri / Section Editors

##### Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering

**Prof. Dr. Mehmet Fatih AKAY**

Cukurova University, Faculty of Engineering, Türkiye  
Makine Öğrenmesi Algoritmaları

**Prof. Dr. İsmail KIRBAŞ**

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Türkiye  
Ağ Oluşturma ve İletişim, Derin Öğrenme, Makine Öğrenmesi  
Algoritmaları, Bilgisayar Yazılımı, Gömülü Sistemler

##### Çevre Mühendisliği / Environmental Engineering

**Doç. Dr. Çağatayhan Bekir ERSÜ**

Cukurova University, Faculty of Engineering, Türkiye  
Çevre Mühendisliği

##### Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇİFCİ**

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Türkiye  
Elektrik Mühendisliği

**Assoc. Prof. Dr. Ercan AVSAR**

Technical University of Denmark, **Denmark**  
Deep Learning, Pattern Recognition, Image Processing

##### Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering

**Doç. Dr. Mehmet Fatih DEMİRAL**

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Müh.-Mimarlık Fakültesi, Türkiye  
Bilgisayar Yazılımı, Yöneylem Araştırması, Nicel Karar Yöntemleri, Çok  
Ölçütlü Karar Verme, Endüstri Mühendisliği

**Dr. Banu ÖZKESER**

Koluman Otomotiv Endüstri A.Ş., Mersin, Türkiye  
Endüstri Mühendisliği, İmalat Süreçleri ve Teknolojileri, Teknoloji Yönetimi  
ve İş Modelleri, Yeni Ürün Geliştirme, İnovasyon Yönetimi, Operasyon  
Stratejisi, Üretim ve Operasyon Yönetimi

##### Enerji Sistemleri Mühendisliği / Energy Systems Engineering

**Doç. Dr. Zuhal AKYÜREK**

Mehmet Akif Ersoy University, Türkiye  
Enerji, Kimya Mühendisliği

##### Gıda Mühendisliği / Food Engineering

**Prof. Dr. Oğuz GÜRSOY**

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda  
Mühendisliği Bölümü, Türkiye  
Gıda Mühendisliği, Gıda Bilimleri, Gıda Kimyası ve Gıda Sensör Bilimi, Gıda  
Mikrobiyolojisi, Gıda Teknolojileri, Süt Teknolojisi

**Assoc. Prof. Dr. Salih AKSAY**

Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering,  
Türkiye  
Food Engineering, Food Sciences, Food Biotechnology, Food Chemistry  
and Food Sensory Science

**Assoc. Prof. Dr. Erdal AĞÇAM**

Çukurova Üniversitesi, Müh.Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye  
Fruit-Vegetables Technology, Food Technology, Food Engineering

**Dr. Öğr. Üyesi Damla BİLECEN ŞEN**

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda  
Mühendisliği Bölümü, Türkiye  
Et Teknolojisi, Gıda Ambalajlama, Saklama ve İşleme, Gıda Mikrobiyolojisi,  
Gıda Teknolojileri

##### İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI**

Istanbul Gelişim Üniversitesi, Türkiye  
İnşaat Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Kadir MERCAN**

Mehmet Akif Ersoy University, Mehmet Akif Ersoy Application and Research  
Center, Türkiye  
Mühendislik, Biyomekanik, Katı Mekanik, Mikro ve Nanosistemler,  
Nanoelektronik

## Editörler Kurulu / Editorial Board (devam ediyor)

### Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering

**Prof. Dr. Salih AKPINAR**  
Erzurum Technical University, Türkiye  
Kati Mekanik

**Assoc. Prof. Petar ILINČIĆ**  
University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval  
Architecture, **Croatia**  
Mechanical Engineering (Other)

### Malzeme Mühendisliği / Materials Engineering

**Prof. Dr. Mustafa TAŞKIN**  
Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Türkiye  
Material Production Technologies, Materials Science and Technologies

**Doç. Dr. Mustafa Güven GÖK**  
Gaziantep University, Türkiye  
Sonlu Elemanlar Analizi, Malzeme Mühendisliği, Kaplama Teknolojisi,  
Kompozit ve Hibrit Malzemeler, Malzeme Mühendisliğinde Seramik,  
Malzeme Üretim Teknolojileri, Toz Metalurjisi

### Mimarlık / Architecture

**Prof. Dr. Hülya YÜCEER**  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü/Mimarlık Fakültesi/Kültür Varlıklarını  
Koruma ve Onarım Bölümü/Restorasyon Anabilim Dalı, Türkiye  
Protection, Restoration and Repair in Buildings, Environment, Habitation  
and Products, Architectural Heritage and Conservation

**Dr. Öğr. Üyesi Hilal TUNCER PÜRSELİM**  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ, Türkiye  
Mimari ve Tasarım, Mimari Miras ve Koruma, Yapı, Çevre, Yerleşim ve  
Ürünlerde Koruma, Restorasyon, Yenileme, Kültürel Miras Yönetimi  
(Dünya Mirası dahil)

### Orman Mühendisliği / Forest Engineering

**Prof. Dr. Cengiz YÜCEDAĞ**  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ, Türkiye  
Ekoloji, Sürdürülebilirlik ve Enerji, Bitki Materyali ve Yetiştiriciliği,  
Ormanlık, Orman Yetiştirme

### Orman Mühendisliği / Forest Engineering

**Prof. Dr. Oliver GAILING**  
University of Göttingen, **Germany**  
Tree Improvement

### Peyzaj Mimarlığı / Landscape Architecture

**Assoc. Prof. Dr. Sima POUYA**  
İnönü Üniversitesi, Türkiye  
Landscape Planning, Landscape Design, Landscape Management,  
Universal and Unobstructed Design

**Assoc. Prof. Dr. Sara DEMİR**  
Bursa Teknik Üniversitesi Türkiye  
Ecology, Sustainability and Energy, Landscape Architecture, Landscape  
Repair, Landscape Planning, Landscape Management, Universal and  
Unobstructed Design, Tourism

**Prof. Dr. Latif Gürkan KAYA**  
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye  
Ecology, Sustainability and Energy, Landscape Architecture, Computer  
Technology in Landscape Architecture, Landscape Planning

### Tekstil Mühendisliği / Textile Engineering

**Prof. Dr. Onur BALCI**  
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü,  
Türkiye  
Tekstil Bilimi, Tekstil Kimyası, Tekstil Teknolojisi, Tekstil Terbiyesi

**Doç. Dr. Devrim DEMİRAY SOYASLAN**  
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye  
Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği

### Otomotiv Mühendisliği / Automotive Engineering

**Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI**  
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ, Türkiye  
Makine Mühendisliği, Otomotiv Mühendisliği, İçten Yanmalı Motorlar,  
Otomotiv Yanma ve Yakıt Mühendisliği

**Prof. Dr. Kadir AYDIN**  
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, Türkiye  
İçten Yanmalı Motorlar, Otomotiv Yanma ve Yakıt Mühendisliği, Taşıt  
Tekniği ve Dinamiği

## Editorial Advisory Board (Editör Danışma Kurulu)

**Maria OMASTOVA**  
Polymer Institute, Slovak Academy of Sciences, Slovakia  
Reserch Area: materials chemistry, polymeric  
nanocomposites, fillers, conducting polymers and  
composites, surface modification of materials

**Mohd Ezree Bin ABDULLAH**  
Tun Hussein Onn University of Malaysia, Malaysia  
Reserch Area: Warm Mix Asphalt, Long Term Pavement  
Performance Monitoring and Assessment, Green  
Pavement Technology  
<https://orcid.org/0000-0003-4513-0485>  
Email: ezree@uthm.edu.my

**Tapani ALATOSSAVA**  
The University of Helsinki, Faculty of Agriculture and  
Forestry, Department of Food and Nutrition, Finland  
Reserch Area: Raw milk microbiology, Lactobacillus  
phage-host interactions  
<https://orcid.org/0000-0003-2934-6817>  
tapani.alatossava@helsinki.fi

**Valentin Grecu**  
Lucian Blaga University of Sibiu, Industrial Engineering,  
Romania

**Radu Emanuil Petrușe**  
Lucian Blaga University of Sibiu, Industrial Engineering,  
Romania

**Marius-Bogdan Chilian**  
Lucian Blaga University of Sibiu, Industrial Engineering,  
Romania

**Horia-Andrei Branescu**  
Lucian Blaga University of Sibiu, Industrial Engineering,  
Romania

**Sadik C. ARTUNÇ**  
Department of Landscape Architecture, Mississippi State  
University, USA  
sa305@msstate.edu

**Martin NERUDA**  
Jan Evangelista Purkyně University, Czech Republic  
Reserch Area: landscape design, water in the landscape,  
hydrology, revitalization of waterways, recultivation  
after coal mining  
<https://orcid.org/0000-0003-1617-3080>  
martin.neruda@ujep.cz

**Kinga KIMIC**  
Department of Landscape Architecture Institute of  
Environmental Engineering, The Warsaw University of Life  
Sciences, Poland  
Reserch Area: Landscape Architecture, Urban Green  
Areas, Sustainable Design, Public parks, Park Users  
Behaviors  
<https://orcid.org/0000-0001-8336-347X>  
kinga\_kimic@sggw.edu.pl

**Rodrigo GARCIA AMORIM**  
Department of Physics, University of Rio de Janeiro  
Federal, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0001-9611-8772>  
rgamorim@id.uff.br

**Dragan Vujadinović**  
Faculty of Technology Zvornik, University of East  
Sarajevo, Bosnia and Herzegovina  
Reserch Area: Food Technology/Food Preservation/Food  
microbiology

**Oliver GAILING**  
Forest Genetics, University of Göttingen, Germany  
Reserch Area: Ecological genetics and genomics  
<https://orcid.org/0000-0002-4572-2408>  
ogailin@gwdg.de

**Seyed Mohammad Safieddin Ardebili**  
Department of Biosystem Engineering, Shahid Chamran  
University of Ahvaz, Iran  
<https://orcid.org/0000-0002-5164-1284>  
m.safieddin@scu.ac.ir

**Andrei-Alexandru Boroiu**  
Department of Transport Engineering, University of  
Pitesti, Romania

**Ali Ghamari**  
Department of Civil Engineering, Islamic Azad University-  
Ilam Branch, Iran  
<https://orcid.org/0000-0003-4204-7143>  
30639 Email: aghamari@alumni.iust.ac.ir

**Joshua M. PEARCE**  
Electrical and Computer Engineering, Michigan  
Technological University, USA  
Reserch Area: photovoltaic, renewable energy, solar  
energy, sustainability, applied sustainability, RepRap,  
open-source 3-D printing, energy policy  
<https://orcid.org/0000-0001-9802-3056>

**Erol TUTUMLUER**

Civil & Environmental Engineering, The Grainger College of Engineering, University of Illinois-Urbana-Champaign, USA

*Research Area: Transportation Engineering*

<https://orcid.org/0000-0003-3945-167X>  
tutumlue@illinois.edu

**Zikri ARSLAN**

College Of Science, Engineering, And Technology, Jackson State University, USA

*Research Area: Trace and heavy metal chemistry, analytical method development, nanomaterial chemistry and toxicity, environmental chemistry*

<https://orcid.org/0000-0001-8929-0558>  
zikri.arslan@jsums.edu

**Emanuel J. CARTER**

LANDSCAPE ARCHITECTURE, SUNY-Environmental Science and Forestry, USA

ejcarter@esf.edu

**İngilizce Dil Editörü****Dr. Öğr. Üyesi Kadir MERCAN**

MEHMET AKİF ERSOY UNIVERSITY, MEHMET AKİF ERSOY APPLICATION AND RESEARCH CENTER, Türkiye  
*Mühendislik, Biyomekanik, Katı Mekanik, Mikro ve Nanosistemler, Nanoelektronik*

**Sekretarya****Arş. Gör. Yasin AŞIK**

BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ, Türkiye  
*Ekoloji, Sürdürülebilirlik ve Enerji, Bitki Materyali ve Yetiştiriciliği, Peyzaj Mimarlığında Bilgisayar Teknolojileri, Peyzaj Planlama, Coğrafi Bilgi Sistemleri*

## Contents

### – Research Articles

#### **Computer aided design of chain elevator 45**

Zincirli elevatörün bilgisayar destekli tasarımı

Onur Güven, Mehmet Ali Altunbaşak

#### **Legal text classification in Turkey: A machine learning approach to divorce and zoning decisions 53**

Türkiye'de hukuki metin sınıflandırması: Boşanma ve imar kararlarına makine öğrenmesi yaklaşımı

Tülay Turan, Ecir Uğur Küçüksille

#### **Mimari tasarımda kendiliğinden yapılanma “self assembly” kavramı ve iç mekânda kullanım olanakları 64**

Self-Assembly material in architectural design and possibilities of use in interior architecture

Nisa Nur Göksel, Nuriye Nida Çelebi Şeker

#### **Color detection based object discrimination design and development 86**

Renk Algılama Temelli Nesne Ayrımı Tasarımı ve Geliştirilmesi

Okan Dinç, Veysel Tileği, Emir Enes Taş, Delal Altunok

#### **Drag reduction of ground vehicle by decreasing flow separation with a passive flow control part 96**

Bir pasif akış kontrol parçası ile akış ayrılmasını azaltarak kara taşıtının sürüklenme kuvvetinin azaltılması

Cihan Bayındırlı, Mehmet Celik

# Computer aided design of chain elevator

## Zincirli elevatörün bilgisayar destekli tasarımı

Onur Güven<sup>1\*</sup> , Mehmet Ali Altunbaşak<sup>1</sup> 

Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 33343, Yenisehir, Mersin, Türkiye

**Abstract:** In this study, a computer program has been developed for the computer-aided design of single-strand chain elevators, which carry powder, bulk, and piece materials and have a wide range of applications. In industry or other usage areas, the most common single-strand chain, gravity tensioned, pre-bedded, bucket elevator is dimensioned using accepted coefficients, tables, catalogs, and formulas. The drive system includes an electric motor, gearbox, bearing, shaft, sprocket, sprocket hub, chain, bucket, and drive upper and lower body enclosure. Brands such as Nord, Yılmaz, Remas, and Flender are used as gearboxes, while brands such as SKF and FAG are used for bearings. In our calculations, a computer program has been developed based on the technical specifications of Remas for the gearbox and SKF for the bearings. Through the use of computer-aided design for the chain elevator, time loss and the burden of the design process were significantly reduced. This study has led to the identification of optimal design values, which in turn has lowered design costs. Operating costs were also minimized by avoiding design errors.

**Keywords:** Elevator, Design by Classical Method, Bucket Conveyors

**Özet:** Bu çalışmada, toz, dökme ve parça malzemeleri taşıyan ve geniş bir uygulama alanına sahip olan tek sıra zincirli elevatörlerin bilgisayar destekli tasarımı için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Sanayi veya diğer kullanım alanlarında en yaygın kullanılan tek sıra zincirli, yerçekimi ile gerilimli, önceden döşenmiş, kaliteli elevatör, kabul edilen katsayılar, tablolar, kataloglar ve formüller kullanılarak boyutlandırılmıştır. Tahrik sistemi elektrik motoru, dişli kutusu, yatak, mil, dişli çarkı, dişli göbeği, zincir, kova ve tahrik üst ve alt gövde muhafazasını içerir. Dişli kutusu olarak Nord, Yılmaz, Remas ve Flender gibi markalar kullanılırken, yataklar için SKF ve FAG gibi markalar kullanılmaktadır. Hesaplamalarımızda, dişli kutusu için Remas'ın teknik özelliklerine ve yataklar için SKF'nin teknik özelliklerine dayalı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Zincir elevatörün bilgisayar destekli tasarımı sayesinde zaman kaybı ve tasarım sürecinin yükü önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu çalışma, optimal tasarım değerlerinin belirlenmesine yol açmış ve tasarım maliyetlerini düşürmüştür. Ayrıca, tasarım hatalarından kaçınarak işletme maliyetleri de en aza indirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elevatör, Klasik Metot ile Tasarım, Kaliteli Konveyörler

## 1. Introduction

An elevator is a mechanical conveying equipment used for vertically transporting materials from one point to another. It is particularly useful for conveying bulk materials such as dust and granules that need to be transported vertically in large quantities. Elevators are highly efficient and widely used vertical conveying systems for a variety of materials, making them one of the most popular vertical transportation systems in today's world. Therefore, their usage areas are very widespread.

The design of chain elevators may seem easy at first glance. Because it can be thought of as stretching the segments between two toothed segments of an endless chain, taking the material from the loading mouth, raising it to the desired point and unloading the material from the pouring mouth. However, as calculations reveal,

the process is far from simple. Designing chain elevators involves extensive use of charts, tables, experience, and predictions. A single incorrect value in these long and complex calculations can significantly alter the results, and designing for a different material with the same capacity and height requires restarting the entire process.

## 2. Source Research

In Kurtboğan's (2006) study, speed is stated as the most important design criterion for bucket elevators. It is noted that speed causes both the dimensions and costs of the elevator to increase excessively. The diameter of the drum or gear is also highlighted as a crucial factor in elevator design. It is observed that while an increase in the drum or gear diameter results in smoother transmission, excessive growth in diameter leads to an increase in

\*İletişim Yazarı / Corresponding author. Eposta/Email : oguvenonur@gmail.com

Geliş / Received: 30.06.2024, Revizyon / Revised: 25.07.2024

Kabul / Accepted: 01.08.2024



the elevator's volume. Therefore, experimental standard tables are required to be used for the selection of both speed and drum diameter in practice.

It was mentioned that for the transmission of relatively hard, coarse-grained materials (such as ore) at high temperatures, a chain elevator should be preferred, while for the transmission of powdered materials (especially grains) at high speeds, a belt elevator should be preferred (Kurtboğan, 2006). The traction elements of elevators were extensively examined in this study, and their characteristics were analyzed. It was stated that the correct selection of either chain or belt should be made based on environmental conditions and material properties. Standards determine almost all elements in elevator design, and it was noted that smooth transmission would be achieved by utilizing these values in the design.

In the study by Gerdemeli (1996), the types and parts of bucket elevators were defined. Information on loading and unloading the elevator based on the characteristics of the transported material was also provided. It was mentioned that materials such as coal dust, cement, powder, soil, and slate, which have small particles, dust, and moderate abrasiveness, would not resist scooping during loading, making the scooping method suitable for conveying such materials. However, for materials with large particles, coarse and abrasive properties, such as gravel, ore, and large coal, which would resist scooping during loading, it was emphasized that direct feeding to the buckets, bypassing scooping, should be employed. Regarding the emptying of the buckets, different emptying types were mentioned depending on material properties and elevator speed. It was also stated that almost all elements in the design of bucket elevators are determined by standards, and theoretical calculations can be made using these values in the design process.

In the study of Cerit (1984) it was mentioned that various types of powder, granular, and bulk materials (such as cement, sand, soil, peat, coal, soda, refractories, chemicals, grain, flour, etc.) and building materials are conveniently transported using elevators. It was noted that elevators are employed in chemical industry factories, foundries, refractory material production, metallurgical factories, food industry, flour mills, grain silos, and similar settings. The characteristics of elevator components were described, and the calculation method for elevator design was explained using tables with standards determined for elevator types and their components.

In the study of Demirsoy (1984) the elevator as a mechanism that operates either vertically or inclined and includes a band and a chain as the traction organs was defined. It was mentioned that elevators are distinguished primarily by their methods of feeding and discharging buckets. Types that use centrifugal force for rapid discharge and types that operate more slowly due to the weight of the conveyed material were discussed. Additionally, important DIN standards related to elevator design were provided.

In the study of Güven (1997), a computer-aided design of rubber band conveyors was made. The history of rubber belt conveyors, their applications from the past to the present, the types of bulk materials they can transport, and the various types of rubber belt conveyors were discussed. The benefits of using computer-aided design, particularly with the Visual Basic 3.0 programming language, for the ergonomic design of conveyors in terms of workload and time efficiency were emphasized.

In the study of Karagülle (2004) an effort was made to generate interest in the language among programmer candidates by developing two very simple yet useful examples for an introduction to visual programming. The structure of the programming language, variables, data types, loops, program control expressions, operators, mathematical operations, functions, subprograms, object-oriented programming, and debugging issues were explained.

In the study of Demirli and İnan (2006) an attempt was made to explain screen windows for an introduction to visual programming, the basics of programming, recommendations for programmer candidates, assignment procedures, functions and procedures, loops, and error handling procedures.

### 3. Method

For the computation of a single-strand chain elevator and the dimensioning of its components in a computer environment, Visual Studio C# (C Sharp) 2017 Programming Language was utilized. This programming language is designed for creating various applications running on the .NET Framework in the Windows environment. It is an object-oriented programming language (Aktaş, 2014).

### 4. Program Phases

The window created as the main menu, where program data is entered and outputs are obtained, serves as the entry page of the program. Figure 1 displays the main window that has been created.

When the calculation icon is clicked on the main window of the program, it switches to the program writing page where the desired information is calculated as blank spaces in the parts shown in the form of empty boxes in Figure 1. The command back-end, where the program calculation is performed, is where the desired program is created line by line. After all the operations are completed, when the program is executed, the window view appears on the screen. The required inputs on this screen are: capacity, material to be transported, conveying distance, selection of one of the materials defined as AISI4140-AISI4340-AISI5140 for the drive shaft material, and selection of one of the materials defined as AISI1035-AISI1040-AISI1045-AISI1050 for the chain material.

In Figure 2, the result view of the main window is shown

at the top. Here, fundamental values such as capacity, shaft distance, bucket type and quantity, reducer type and power, reducer shaft diameter, bearing type and shaft diameter, chain type and length, chain sprocket diameter and speed are displayed on the screen as output results. Additionally, this screen includes icons showing chain characteristic values, the overall appearance of the

elevator, and shaft sizing. When the shaft sizing button is clicked, the visual structure of the shaft along with numerical values is displayed on the screen as shown in Figure 3, which illustrates the drive system shaft sizing visualization. Clicking on the chain properties button will display the chain characteristic values table on the screen as shown in Figure 4. When the general appearance but-

The screenshot shows a software interface with the following sections:

- Input Section:**
  - Capacity (t/h):
  - Weight (t/m<sup>3</sup>):
  - Distance (mt):
  - Shaft Material:
  - Chain Material:
  - Buttons: Shaft Dimension, Chain Features, General Appearance, Calculate
- Output Section:**
  - Capacity (t/h):
  - Remas Reducer Type:
  - Reducer Shaft (mm):
  - Reducer Power(kw):
  - SKF Drive Bearing Type:
  - Drive Bearing Shaft Dia(mm):
  - Wheelbase (mt):
  - Tension Bearing Type:
  - Tension Bearing Shaft Dia(mm):
  - Bucket Type:  Pj
  - Chain Type:  Pj
  - Sprocket Wheel(Ø):  Pj
  - Number of Buckets:
  - Chain Length (mt):
  - Chain Speed (m/s):
  - Drive Shaft Hub Diameter(mm):
  - SKF Bearing and Sleeve:

Figure 1. Program main window

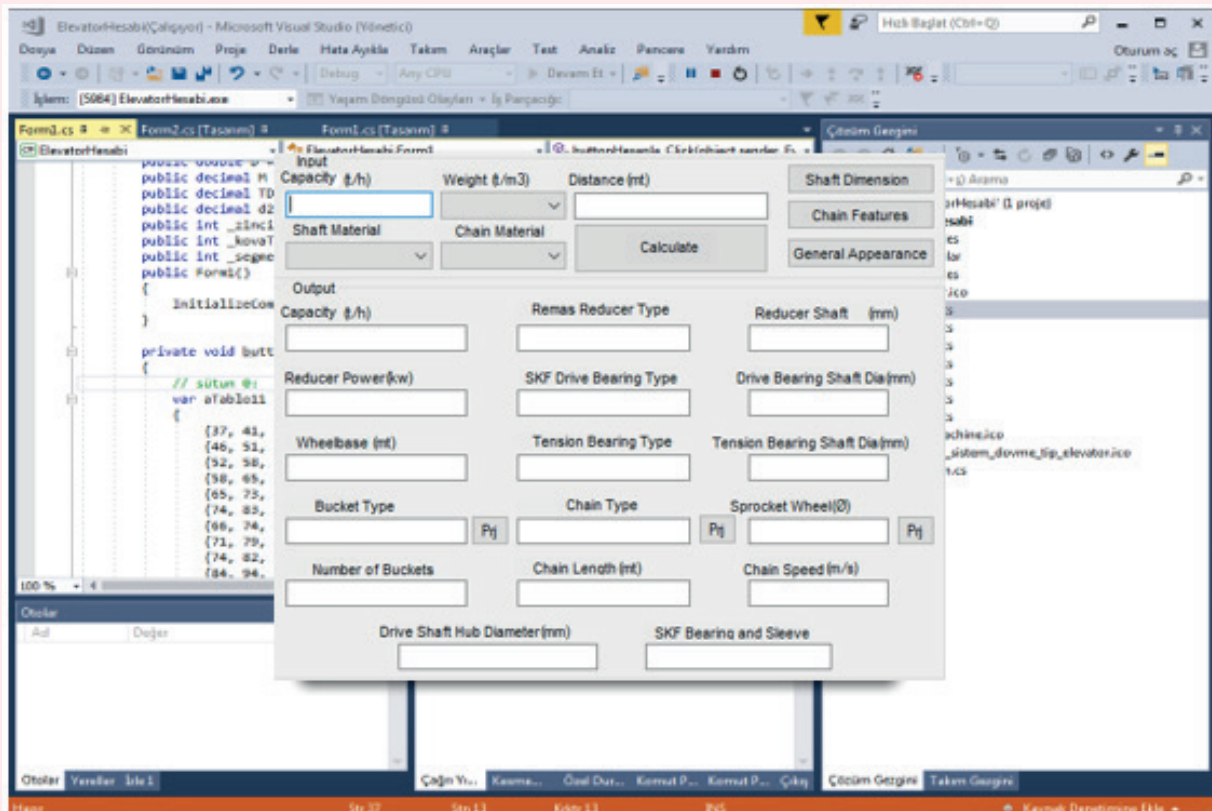


Figure 2. Microsoft visual studio c# program main window



ton is clicked, the parts constituting the elevator and the general appearance are displayed on the screen. Clicking on the Project button, located next to the bucket type output, chain type output, and chain sprocket output, will display the project drawing details on the screen.

#### 4.1. Material Selection

Computer-aided elevator calculations have been performed for materials such as clinker, coal, cement, farina, ground limestone, slag, fly ash, limestone, sand, salt, and coke. By selecting the name of the material from the dropdown menu, the program obtains the specific gravity value of the material from the table and includes this value in the calculations.

#### 4.2. Capacity Selection

In the selection of capacity, the capacity table shown in Figure 5, obtained through practical applications, experiences, and tests, has been utilized. The capacity values

in this table have been incorporated into the program. The capacity values highlighted in yellow represent the most suitable ergonomic capacity values created considering operating conditions and material properties. Selection can also be made from capacity values without color, but here, the program prompts the selection based on the ergonomic capacity value. If the desired capacity value exists, it is selected; otherwise, the closest higher capacity value is chosen. If there are multiple capacity values for the higher capacity, the program ensures the selection of the capacity value where the drum speed is lower, considering the physical installation location of the elevator and, most importantly, the operating conditions. From the location of the selected capacity value, the bucket type and volume, chain type and pitch; and from the vertical columns, chain sprocket diameter and speed parameters are selected. Based on these parameters, the capacity is calculated in tons per hour (t/h) using equation (1).

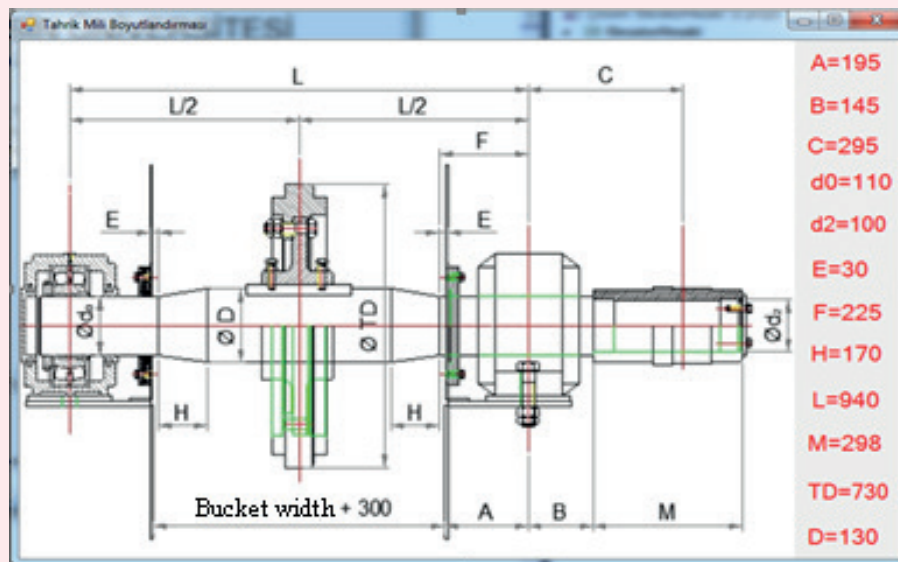


Figure 3. Drive system shaft dimensioning as a result of the calculation

ELEVATOR CHAIN CHARACTERISTIC DIMENSIONS AND METALLURGICAL VALUES														
MODEL	OUTER BUCKET CHAIN mm B:Gross W(kg)	CENTRAL BUCKET CHAIN mm N:Net W(kg)	PITCH DIAMETER mm	INNER PITCH DIAMETER mm	PITCH LENGTH mm	PIN DIAMETER mm	PIN LENGTH mm	PIN AXIS mm	BUCKET CON. HOLES AXIS mm	BUCKET CON. HOLES DIAMETER mm	PITCH MATERIAL	PITCH STRENGTH mm	PITCH CLASS HARDNESS	PIN HARDNESS DEPTH mm
A1	110 x 10 x 200 B 1,760 N 1,450	60 x 10 x 215 B 1,032 N 0,800	Ø38,20	Ø22,70	71	Ø22,20	100	140	100 x 100	Ø14	8620	2,0 2,2	4140 28-32 HRC	2,4-2,8 58-62HRC
B3	150 x 12 x 240 B 3,456 N 2,540	75 x 12 x 260 B 1,872 N 1,340	Ø44,68	Ø26,18	95,20	Ø25,90 Ø25,40	139	152,4	200 x 130	Ø18	8620	2,2 2,4	4140 28-32 HRC	2,8-3 58-62HRC
B4	155 x 14 x 245 B 4,253 N 3,180	85 x 14 x 260 B 2,475 N 1,740	Ø50,68	Ø29,38	99,20	Ø29,10 Ø28,60	147	152,4	200 x 130	Ø18	8620	2,4 2,6	4140 28-32 HRC	3-3,2 58-62HRC
B5	155 x 16 x 270 B 5,356 N 4,260	85 x 16 x 290 B 3,155 N 2,300	Ø50,68	Ø29,38	103,20	Ø29,10 Ø28,60	155	177,8	200 x 150	Ø18	8620	2,6 2,8	4140 28-32 HRC	3,2-3,4 58-62HRC
§ 06	95 x 18	95 x 18	Ø58,10	Ø36,80	112	Ø36,10	193	177,8	284 x 250		8620	2,6 2,8	4140 28-32 HRC	4-5 58-62HRC
§ 13	95 x 18	95 x 18	Ø58,90	Ø40,50	127	Ø39,70	206	177,8	300 x 150		8620	2,6 2,8	4140 28-32 HRC	4-5 58-62HRC
§ 15	105 x 20,5	105 x 20,5	Ø70,90	Ø44,70	132	Ø44,10	230	177,8	300 x 150			2,6 2,8	4140 28-32 HRC	4-5 58-62HRC

Figure 4. Chain characteristic values used in the calculation



$$\frac{3600(s/h) * BucketVolume(dm^3) * SpecificWeight(t/m^3) * 0.75 * V(m/s)}{BucketPitch(mm)} \quad (1)$$

The calculated capacity is compared with the desired capacity. If the result of the comparison is smaller than the desired capacity, then another capacity value, which is the closest higher value, is selected. If the result of the comparison is equal to or greater than the desired capacity, the process proceeds to the next stage.

### 4.3. Reducer Power Calculation

The reducer power Kw is calculated from the following equation taking into account the selected capacity value and the entered shaft distance.

$$\frac{Capacity(kg/s) * 9,81 * wheelbase(m) * Coefficient(2,....2,5)}{1000} \quad (2)$$

The coefficient expressed in equation (2), with values ranging from 2 to 2.5, is selected by the program based on the applied capacity in practice. In the Turkish market, there are reducer companies such as Nord, İmak, Yılmaz, Remas, and Öztekn. Remas brand reducer data has been used as the basis for the creation of the pro-

gram. The reducer types and hydraulic coupling type are selected by the program based on the reducer power from the reducer catalog (Remas catalog, 2017). Bearing type, bearing shaft diameter, bearings, sleeves, and corresponding tensioning shaft diameters and tensioning bearings are obtained by the program from the SKF catalog (SKF catalog, 2017)

### 4.4. Chain Length Calculation

The calculation of chain length (CL) is done using equation (3). The accuracy of the chain length is verified through the calculation of the number of buckets. The number of buckets is calculated from equation (4).

$$CL = Wheelbase \times 2(mm) + Chain \ sprocket \ Circumference(mm) + Chain \ Bushing \ Circumference(mm) \quad (3)$$

$$Number \ of \ Buckets = \frac{ChainLength(m)}{BucketPitch(m)} \quad (4)$$

If the number of buckets turns out to be an odd or fractional number, it is taken as the nearest even integer value. Then, the actual chain length is determined by multi-

CHAIN			BUCKET				CHAIN GEAR DIAMETER AND SPEED						
Type	Weight (Kg/mt)	Bushing diameter (mm)	Type	Width	Volume (dm <sup>3</sup> )	Weight (kg)	Pitch	1,04 Ø655	1,16 Ø730	1,25 Ø790	1,4 Ø890	1,56 Ø1005	1,67 Ø1115
A1 CHAIN	22	38,2	210	200	3,7	5,8	280	37	41	45	50	56	60
				250	4,6	6,6	280	46	51	55	62	69	74
				280	5,2	7,3	280	52	58	63	70	78	84
				315	5,8	7,8	280	58	65	70	78	87	93
				355	6,5	8,7	280	65	73	78	88	98	105
B3 CHAIN	40	44,68	250	400	7,4	9,9	280	74	83	89	100	111	119
				280	7,2	9	305	66	74	80	89	99	107
				300	7,7	9,7	305	71	79	85	95	106	114
				315	8	10,2	305	74	82	89	99	111	118
B4 CHAIN	45,5	50,68	285	355	9,1	11,1	305	84	94	101	113	126	135
				400	10,3	12	305	95	106	114	128	142	152
				450	11,6	13	305	107	119	128	144	160	172
				500	12,9	14	305	119	133	143	160	178	191
				560	14,4	16,2	305	133	148	159	179	199	213
B5 CHAIN	47,5	50,68	285	400	16,8	16,8	356	133	148	159	179	199	213
				450	18,9	18	356	149	166	179	201	224	240
S06 CHAIN	62,5	58,1	285	500	21	19,9	356	166	185	199	223	249	266
				560	23,5	22,5	356	186	207	223	250	278	298
				630	26,4	24,5	356	208	233	251	281	313	335
S13 CHAIN	65	58,9	285	710	29,8	25,4	356	235	262	283	317	353	378
				800	33,6	32,6	356	265	296	319	357	398	426
S15 CHAIN	82,5	70,9	285	900	37,8	33,3	356	298	333	359	402	448	479
				1000	41,9	42,5	356	331	369	398	445	496	531
				1100	46,2	46,02	356	365	407	438	491	547	586

CAPACITIES ACCORDING TO BUCKET TYPE AND CHAIN GEAR DIAMETER.

m<sup>3</sup>/h (% 75 CONSIDERED AS FULL.)

Figure 5. Capacities by bucket type and sprocket diameter

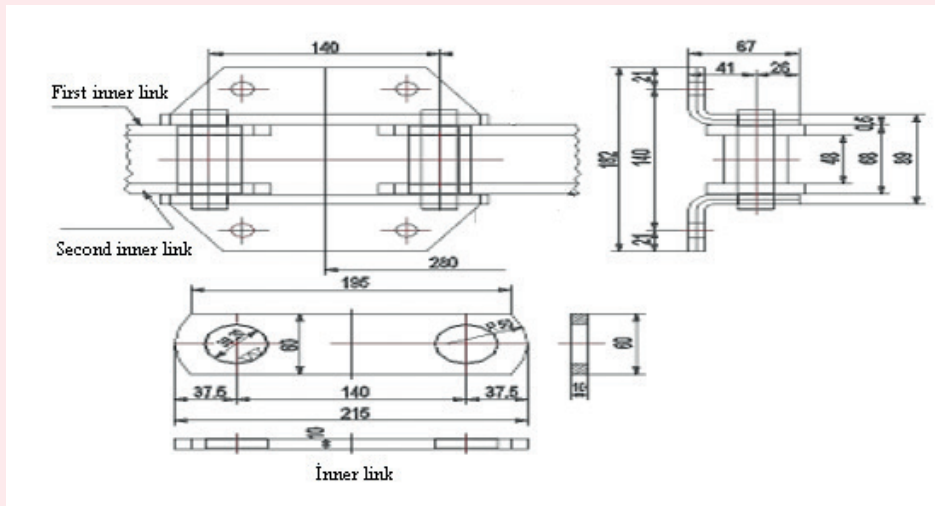


Figure 6. A1 chain view and inner link section

plying the number of buckets by the bucket pitch.

#### 4.5. Chain Link Section Calculation

To select the chain material in the program, the material name is chosen from the dropdown menu on the main window. This action allows the program to obtain the material's breaking strength value and include it in the calculations. In the program, chain views and inner link sections for A1-B3-B4-B5-Ş06-Ş013-Ş15 chains have been processed. Figure 6 displays only the A1 chain view and inner link section drawing detail.

Minimum total cross-sectional areas at pea-pin connection of the chain types shown in the main window result form are determined from the AutoCAD project drawing for the pea cross-sectional areas of the selected chain types. These values are taken by the program according to the chain types from the generated table. If a tensioning system weight project has been drawn, the project weight is entered. If there is no project drawing, an average weight should be entered into the program.

#### 4.6. Drive Shaft Diameter Calculation

Figure 7 illustrates the forces acting on the drive shaft. These forces cause shear, bending, and torsion in the shaft.  $T_1$  represents the weight of the material-filled side (N),  $T_2$  represents the weight of the material-empty side (N), and  $D$  represents the shaft hub diameter (m).

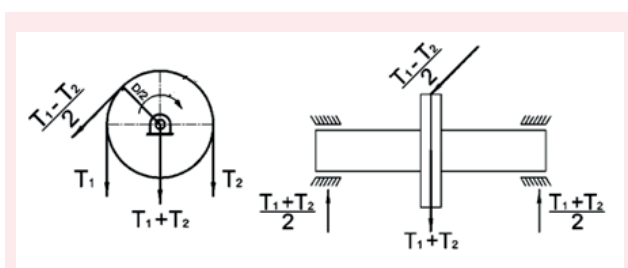


Figure 7. Force distribution on the drive shaft

The bending moment  $M_e$  (Nm) occurring in the shaft is calculated from equation (5), where  $L$  represents the length in meters (m). The torsional moment  $M_b$  (Nm) occurring in the shaft is determined from equation (6).

$$M_e = \frac{(T_1 + T_2) \times L}{4} \quad (5)$$

$$M_b = \frac{(T_1 - T_2) \times D}{4} \quad (6)$$

The torsional moment  $M_d$  (Nm) occurring in the shaft is calculated from the following equation.  $N$  is the power transmitted by the motor (kW),  $n$  is the speed of the motor (revolutions per minute, rpm), and  $\eta$  is the power transmission efficiency from the motor to the gearbox. For the shaft to be able to perform the rotation process,  $M_d$  must be greater than or equal to  $M_b$ .

$$M_d = 9550 \frac{N}{n} \quad (7)$$

The shaft diameter  $D$  (m) under dynamic loads is calculated from equation (8) considering the Maximum Shear Stress Hypothesis (MSSH). Equation (9) represents the shear safety stress.

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{2 \times 16}{\pi \times \sigma_{em}^*} [\sqrt{(M_e \times K_m)^2 + (M_b \times K_t)^2}]} \quad (8)$$

$$\tau_{em}^* = (\sigma_{em}^*)/2 \quad (9)$$

The shear safety stress of the shaft is calculated from equation (10) for infinite life under fully variable loading due to dynamic loads during system start-up and shut-down (continuous stress state).

$$\tau_{em}^* = \frac{K_y \times K_b}{\beta_k \times S_2} \tau_{em} \quad (10)$$



A working factor of 2 is taken for the dynamic effects for the working factor  $S_2$ . The program obtains the size factor ( $K_b$ ) value from the table created according to the diameter, the notch sensitivity factor ( $\beta_k$ ) value from the table created according to the material, and the surface factor ( $K_y$ ) value from the table created according to the material's tensile strength (Bozacı, 2005). The program obtains the impact ( $K_m$ ) and wear ( $K_t$ ) coefficients applied to the bending and torsional moments for rotating shafts from the table created according to the loading condition (Aşık, 1992).

## 5. Discussion and Conclusion

In order to carry out the engineering design of a single-strand chain elevator using the classical method,

**Table 1.** Input preferences of design criteria

	I Preference	II Preference	III Preference
Capacity(m <sup>3</sup> /h)	99	101	106
Chain type	B3	B4	B4
Sprocket Wheel(mm)	Ø890	Ø790	Ø730
Chain speed(m/s)	1.4	1.25	1.16
Bucket type	250 x 315	250 x 355	250 x 400

the designer calculates values by relying on experience, practical applications, tables, charts, and catalogs. When selecting from Figure 5 for conveying cement with a specific gravity of 1 t/m<sup>3</sup> at a capacity of 100 t/h and a height of 30 m, the designer may make different choices. By se-

**Table 2.** Comparison of calculation results

Situations	I Preference	II Preference	III Preference	Program result
Capacity	99.21 t/h	101 t/h	106 t/h	100.76 t/h
Chain type	B3	B4	B4	B4
Chain length	62.789 m	62.789 m	62.179 m	62.789 m
Sprocket wheel	Ø 890 mm	Ø 790 mm	Ø730 mm	Ø 790 mm
Chain speed	1.4 m/s	1.25 m/s	1.16 m/s	1,25 m/s
Bucket type	250 x 315	250 x 355	250 x 400	250 x 355
Number of buckets	206 Ad	206 Ad	204 Ad	206 Ad
Reducer power	16.22 Kw	17.29 Kw	17.29 Kw	18,5 Kw
Reducer type	/ K2A-225	/ K2A-225	/ K2A-225	/ K2A-225
Distance between bearing	L : 1035 mm	L : 1075 mm	L : 1120 mm	L : 1075 mm
Drive shaft	D : 14.72 cm	D : 15.11 cm	D : 15.83 cm	D : 160 mm
Drive of buckets	~150 mm	~150 mm	~160 mm	

**Figure 8.** Calculation main window result form

lecting three different values from Figure 5, the designer can make a choice from the design criteria in Table 1 for their design. These differences will lead to changes in the elevator height, elevator length, and elevator weight.


In this study, by inputting the operation data into the software implemented and running the program, the main window result form depicted in Figure 8 is obtained.

The calculation results obtained by the classical method according to the preferences in Table 1 are compared with the values calculated by the program in Figure 8 in Table 2.

As a result, during the design process, it is crucial to have a thorough understanding of operating conditions and material properties, and the designer must be ex-

perienced. If two different individuals were to design an elevator with the same specifications using the classical method without knowledge of each other's work, they might arrive at different results. One of these results may be more ergonomic than the other. Another scenario is that designing for a different material at the same capacity and height would require starting all calculations from scratch. Designing with computer assistance would minimize time loss and design workload, reduce design costs by using optimal values, prevent erroneous designs, and consequently decrease operational and maintenance expenses.

## Orcid

Onur Güven  <https://orcid.org/0000-0002-8101-4871>

Mehmet Ali Altunbaşak  <https://orcid.org/0009-0000-2729-6532>

## References

- Aktaş, V. (2014). *Her Yönü İle C# 6.0 Oku, İzle, Dinle, Öğren*. Kodlab Publication.
- Aşık, E. (1992). *Kovalı Elevatörler*. MMO Publications.
- Bozacı, A. (2005). *Makine Elemanları Cilt-1*. Çağlayan Kitabevi.
- Demirli, N., & İnan, Y. (2006). *VisualC#.Net2005*. Palme Yayıncılık.
- Demirsoy, M. (1984). *Transport Tekniği (İletim Makinaları Cilt 2)*. Birsen Yayınevi.
- Gerdemeli, İ. (1996). *MAK 534 Sürekli Transport Sistemleri Elevatör Tasarımı* [Lecture notes]. Istanbul Technical University, Mechanical Engineering Department.
- Güven, A. (1997). *Lastik Bantlı Konveyörlerin Bilgisayar Destekli Tasarımı* (Master's thesis, Mersin University, Institute of Science and Technology).
- Karagülle, İ. (2004). *Microsoft Visual C#.Net Başlangıç Rehberi*. Türkmen Kitabevi.
- Koç, E. (2007). *Makina Elemanları Çözümlü Problemler*. Nobel Kitabevi.
- Kurtboğan, G. (2006). *Zincirli ve Bantlı Elevatörler ve Bunların Tasarım Kriterlerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması* (Master's thesis, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology).
- Remas. (2017, February 2). *Remas Redüktör Katalog*. Retrieved from <http://www.remas.com.tr/reduktorler/>.
- SKF. (2017, February 2). *SKF Genel Katalog*. Retrieved from <http://www.skf.com/group/system/ProductSearchResult.html>.
- Spivakovsky, A., & Dyachkov, V. (1984). *Götürücüler (Konveyör) ve İlgili Donatımı (Kepçeli, Kefeli ve Döner Tepsili Yükselticiler)* (A. M. Cerit, Trans.).

# Legal text classification in Turkey: A machine learning approach to divorce and zoning decisions

## Türkiye'de hukuki metin sınıflandırması: Boşanma ve imar kararlarına makine öğrenmesi yaklaşımı

Tülay Turan<sup>1\*</sup> , Ecir Uğur Küçükşille<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Department of Computer Technologies, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Computer Engineering, Süleyman Demirel University, Isparta, Türkiye

**Abstract:** The increasing volume of legal data in recent years requires integrating artificial intelligence (AI) techniques for efficient management and use. Critical challenges include classifying legal texts into specific fields or topics. This is crucial to advancing legal research and practice. This article aims to categorically classify Turkish court decisions, an area that has yet to be adequately researched before, compared to classification studies in international law texts. The study aims to contribute significantly to developing artificial intelligence-supported solutions to guide Turkish legal decisions by dividing legal texts into specific areas, thus increasing the efficiency and accessibility of the legal system. The study first created a data set consisting of divorce and zoning cases. Then, basic models were established with K-Nearest Neighbor (KNN), Support Vector Machines (SVM), Decision Trees (DT), and Random Forests (RF) algorithms to determine the algorithm that would classify the cases most effectively. Hyperparameter optimization was performed for each model to increase the Base Model performances. This process was supported by the 10-fold cross-validation method. Improved models were established with the hyperparameter values obtained as a result of optimization. As a result of comparative analysis, the SVM model had an impressive 90% accuracy rate in classifying legal texts. This result will significantly contribute to the development of intelligent legal systems by achieving significant success in classifying legal texts in Turkey.

**Keywords:** Legal Text Classification, Turkish Court Decisions, Machine Learning Algorithms, Hyperparameter Optimization, SVM

**Özet:** Son yıllarda artan hukuki veri hacmi, verimli yönetim ve kullanım için Yapay Zeka (AI) tekniklerinin entegrasyonunu gerektirmektedir. Kritik zorluklar arasında hukuki metinlerin belirli alanlara veya konulara göre sınıflandırılması yer almaktadır; bu, hukuki araştırma ve uygulamanın ilerletilmesi açısından çok önemlidir. Bu makale, uluslararası hukuk metinlerindeki sınıflandırma çalışmalarına kıyasla daha önce yeterince araştırılmamış bir alan olan Türk mahkeme kararlarını kategorik olarak sınıflandırmayı amaçlamaktadır. Çalışma, hukuki metinleri belirli alanlara ayırarak, Türk hukuki kararlarında yönlendirmeye yönelik yapay zeka destekli çözümlerin geliştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmayı ve böylece hukuk sisteminin verimliliğini ve erişilebilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada ilk olarak boşanma ve imar davalarından oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra davaları en etkin şekilde sınıflandıracak algoritmayı belirlemek için K-En Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makineleri (SVM), Karar Ağaçları (DT) ve Rastgele Ormanlar (RF) algoritmaları ile temel modeller kurulmuştur. Temel Model performanslarını arttırmak için her bir model için hiperparametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, 10 katlı çapraz doğrulama yöntemi ile desteklenmiştir. Optimizasyon sonucunda elde edilen hiperparametre değerleri ile iyileştirilmiş modeller kurulmuştur. Karşılaştırmalı analiz sonucunda, SVM modeli hukuki metinlerin sınıflandırılmasında %90 gibi etkilici bir doğruluk oranına sahip olmuştur. Bu sonuç, Türkiye'deki hukuki metinlerin sınıflandırılmasında önemli bir başarıyı elde ederek, akıllı hukuk sistemlerinin gelişimine önemli katkılar sağlayacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Hukuki Metin Sınıflandırması, Türk Mahkeme Kararları, Makine Öğrenmesi Algoritmaları, Hiperparametre Optimizasyonu, SVM

## 1. Introduction

Legal text classification is a critical process in legal informatics. It aims to systematically classify legal documents into predefined classes or categories according to their content and thematic relevance (Boella et al., 2011). This process facilitates the effective management, access, and

analysis of legal texts, thereby increasing the accessibility of legal information and supporting legal research and decision-making processes. Legal text classification leverages advances in Natural Language Processing (NLP) and Machine Learning (ML) to automate the analysis of complex legal language and document structures (Li et al., 2020).

\*İletişim Yazarı / Corresponding author. Eposta/Email : tulayturan@mehmetakif.edu.tr

Geliş / Received: 05.03.2024, Revizyon / Revised: 14.04.2024

Kabul / Accepted: 16.04.2024



Studies in the literature have focused primarily on legal texts from various jurisdictions and languages, reflecting the global interest in legal informatics and the universal challenges posed by legal text classification. Much research has been conducted on English-language legal texts focusing on courts' decisions in the United States, the United Kingdom, and international tribunals such as the European Court of Human Rights (ECtHR). Aletras et al. (2016) have established a precedent for predictive legal analytics using NLP and ML by predicting the outcomes of ECHR cases by analyzing case texts. Chalkidis, Androutsopoulos, et al. (2019) focused on predicting the legal verdict on ECHR cases. Chen et al. (2022) focused on text classification for US legal texts and used pre-trained word embedding-based deep learning algorithms. Studies of Chinese legal texts have analyzed decisions from various levels of the Chinese judiciary, highlighting the challenges and strategies specific to the Chinese legal language. In their study called IFlyLegal, Wang et al. (2019) introduced an integrated system that performs legal document analysis by using deep contextual representations and various attention mechanism techniques. Lei et al. (2017) automatically classified Chinese decision documents using machine learning algorithms. Their study stated that they created a vector space model using TF-IDF after segmenting the words. Zhang et al. (2022) proposed a Chinese legal element identification method based on BERT's contextual relationship capture mechanism to identify elements by measuring the similarity between legal elements and case descriptions. In their study, Benedetto et al. (2023) focused on Italian legal document classification. Their study used the BERT pre-trained Language model for legal document classification. Tagarelli and Simeri (2022) used Italian BERT pre-trained on the Italian civil code or its sections for the classification task. Nineesha and Deepalakshmi (2022) used Indian legal documents to classify legal texts in their study. In their research, they compared the performance of deep learning techniques. Kalia et al. (2022) developed models with a Support Vector Machine, Naive Bayes, K-Nearest Neighbor, and Decision Tree to classify case events of the Central Information Commission of India.

In the Republic of Turkey, which has a rich legal heritage, applying artificial intelligence techniques in legal text

classification is essential and valuable. Despite growing research on the classification of legal texts in various jurisdictions, studies focusing on the Turkish legal system are scarce (Sert et al., 2022; Aydemir, 2023; Görentaş et al., 2023; Turan et al., 2023). This article aims to fill this gap by developing a methodology for automatically classifying Turkish court decisions, focusing on two common cases (zoning and divorce). For this purpose, a data set containing divorce and zoning cases was first created in the study. The data set was put through natural language processing processes. After the DDI steps, the data set was divided into 80% training and 20% test sets using the holdout method. Then, basic models were established using KNN, SVM, DT, and RF machine learning algorithms. Hyperparameter optimization was performed to increase the performance of the models. This process was supported by the 10-fold cross-validation method. As a result, the SVM model achieved an impressive 90% accuracy rate in classifying legal texts.

This study aims to contribute to the development of intelligent legal systems by providing a concrete methodology and application example for studies in the field of legal text classification in Turkey. In addition, it will serve as an essential reference point for developing classification models appropriate to the characteristics of local legal systems.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Dataset

In order to develop natural language processing applications in the field of law, it is important to first examine the online decision sharing of these courts and determine in which court field the study data set will be created. Table 1 shows online decision sharing information of the courts of the Republic of Turkey.

In sharing the decision contents, the first instance court decisions of the Judicial Judiciary and Administrative Jurisdiction were examined. The first point that draws attention in these reviews is that there needs to be a platform where the state shares decisions. As a result, commercial web pages sharing legal decisions were searched and decision examples were accessed on the Lexpera

**Table 1.** Online decision pages of the courts of the Republic of Turkey (Turan, 2023)

	Court	Link
Judiciary	First Instance Courts	<a href="https://www.lexpera.com.tr/">https://www.lexpera.com.tr/</a>
	Regional Courts of Justice	<a href="https://emsal.uyap.gov.tr/">https://emsal.uyap.gov.tr/</a> <a href="https://www.lexpera.com.tr/">https://www.lexpera.com.tr/</a>
	Supreme Court	<a href="https://karararama.yargitay.gov.tr/">https://karararama.yargitay.gov.tr/</a>
Administrative jurisdiction	First Instance Courts	<a href="https://www.lexpera.com.tr/">https://www.lexpera.com.tr/</a>
	Regional Administrative Courts	<a href="https://emsal.uyap.gov.tr/">https://emsal.uyap.gov.tr/</a> <a href="https://www.lexpera.com.tr/">https://www.lexpera.com.tr/</a>
	Council of state	<a href="https://karararama.danistay.gov.tr/">https://karararama.danistay.gov.tr/</a>
Constitutional Judiciary	Constitutional Court	<a href="https://www.anayasa.gov.tr/tr/kararlar-bilgi-bankasi/">https://www.anayasa.gov.tr/tr/kararlar-bilgi-bankasi/</a>

website. A data set was created by downloading the first instance court decisions, including zoning and divorce case decisions, from the relevant page to be used in the study. The representation of the most frequently encountered words in the texts of zoning and divorce decisions in the data set is given in Figure 1.



Figure 1. Display of the most frequently encountered words in the court texts included

## 2.2. Natural Language Processing

NLP is a subfield of artificial intelligence (AI) and linguistics that focuses on the interaction between computers and human (natural) languages. It aims to enable computers to understand, interpret, and produce human language in a valuable and meaningful way. NLP combines computational linguistics (rule-based modeling of human language) with statistical, machine learning, and deep learning models. These technologies allow computers to process human language in the form of text or audio data and ‘understand’ the whole meaning of the

speaker or writer, together with their intent and feelings (Hirschberg and Manning, 2015).

NLP is crucial to data analytics; It enables automatic analysis of large volumes of text data to gain insight, identify trends, and detect sentiment. This is particularly relevant in marketing, customer service, healthcare, and legal informatics, where understanding human communication can provide a competitive advantage and operational efficiency (Zhong et.al., 2020). In law, NLP facilitates the analysis of legal documents, case law, and legislation, helping legal professionals quickly find relevant information and make more informed decisions (Ashley and Brüninghaus, 2009; Alarie et. al., 2018). Figure 2 shows the classification of legal texts into divorce and zoning cases using natural language processing.

## 2.3. Classification Algorithms

### K-Nearest Neighbor

The KNN algorithm is a simple yet powerful non-parametric method for classification. It operates on a very intuitive principle: an object is classified by a majority vote of its neighbors, with the object being assigned to the class most common among its k nearest neighbors (k is a positive integer, typically small). If k=1, then the object is assigned to the class of its nearest neighbor (Laaksonen and Oja, 1996; Mucherino et. al., 2009).

In the basic equation, the distance between two points (e.g., x and y) is typically calculated using the Euclidean distance, though other distances (Manhattan, Minkowski, etc.) can be used depending on the context:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_i^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

where n is the number of dimensions (features) and  $x_i$ ,  $y_i$  are the values of the ith feature for points x and y, respectively.

### Support Vector Machines

SVM is a set of supervised learning methods used for classification, regression, and outliers detection. The basic idea behind SVM is to find the hyperplane that best divides a dataset into two classes. The hyperplane’s equation can be written as follows (Gunn, 1998; Hearst et.al., 1998; Awad et.al., 2015):

$$w \cdot x - b = 0 \quad (2)$$

where  $w$  represents the weight vector,  $x$  is the input features, and  $b$  is the bias. The weight vector  $w$  determines the orientation of the hyperplane, while the bias  $b$  determines the distance of the hyperplane from the origin. Together, they define the decision boundary: points for which  $w \cdot x - b > 0$  fall into one class, while those for which  $w \cdot x - b < 0$  fall into the other. SVMs aim to maximize the margin between the classes, which is inversely proportional to the norm of  $w$ .

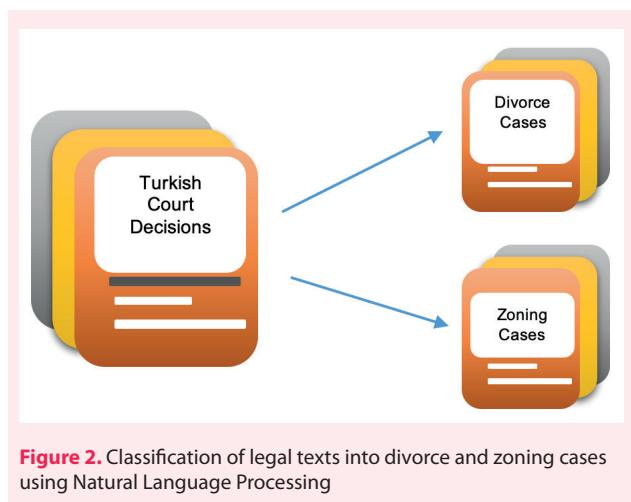


Figure 2. Classification of legal texts into divorce and zoning cases using Natural Language Processing



## Decision Trees

DT is a nonparametric supervised learning method used for classification and regression. A decision tree builds classification or regression models in the form of a tree structure, breaking down a dataset into smaller subsets while simultaneously developing an associated decision tree incrementally. The final result is a tree with decision nodes and leaf nodes (Gupta et.al., 2017; Patel and Prajapati, 2018; Charbuty and Abdulazeez, 2021).

The decision at each node is made based on the feature  $x_i$  that maximizes or minimizes a certain criterion, such as the Gini impurity or the information gain. The information gain is calculated as follows:

$$IG(D_p, x_i) = I(D_p) - \sum_j^m \frac{N_j}{N_p} I(D_j) \quad (3)$$

where  $IG(D_p, x_i)$  is the information gain of parent dataset  $D_p$  split on feature  $x_i$ ,  $I$  is the impurity measure (e.g., entropy for information gain),  $N_p$  is the number of samples in the parent dataset,  $N_j$  is the number of samples in the  $j$ th child dataset, and  $m$  is the number of child datasets. The equation calculates the reduction in impurity or “entropy” achieved by splitting the parent dataset  $D_p$  on feature  $x_i$ . The goal is to maximize this reduction, thereby making the data subsets as pure as possible at each step of the tree.

## Random Forests

RF is an ensemble learning method for classification, regression, and other tasks. It operates by constructing a multitude of decision trees at training time and outputting the class, that is, the mode of the classes (classification) or mean prediction (regression) of the individual trees (Breiman, 2001; Cutler et.al., 2007; Ali et.al., 2012).

Random Forests do not have a simple equation like the algorithms mentioned above, as they are based on the aggregation of the results of multiple decision trees. However, the general principle of operation can be described as:

$$RF(x) = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T_b(x) \quad (4)$$

where  $RF(x)$  is the prediction of the Random Forest for input  $B$  is the number of trees in the forest, and  $T_b(x)$  is the prediction of the  $b$ th decision tree. This formula represents the aggregation process in Random Forests, where the outputs of multiple decision trees are combined to produce a final result. For classification tasks, this typically involves selecting the most frequent prediction (mode) among all trees in the forest.

## 2.4. Hyperparameter Optimization with GridSearchCv

Optimizing machine learning algorithms is a critical step in the model development, ensuring that models achieve the best possible performance on given tasks (Feurer and Hutter, 2019; Yang and Shami, 2020). This process involves setting the model’s hyperparameters, the configuration settings used to configure machine learning models.

GridSearchCV is a hyperparameter tuning technique that comprehensively searches a specific subset of hyperparameters, evaluating and comparing the performance of models trained with each combination through cross-validation (Kartini et.al., 2021; Alhakeem et.al., 2022). The goal is to find the optimal set of hyperparameters that results in the best model performance.

The equation of GridSearchCV for selecting the optimal hyperparameter set ( $H^*$ ) can be abstractly formulated as:

$$H^* = \arg_H \max CV_k(M(H, D_{train}), D_{val}) \quad (5)$$

- $H^*$  is the optimal set of hyperparameters.
- $H$  ranges over the grid of possible hyperparameter combinations.
- $CV_k$  represents the K-fold cross-validation process.
- $M(H, D_{train})$  is the model trained with hyperparameters  $H$  on the training dataset  $D_{train}$ .
- $D_{val}$  is the validation dataset used in cross-validation.

## 2.5. Evaluation metrics

Evaluation metrics are crucial for evaluating the performance of classification models and provide information about how well a model’s predictions match actual observed results. These measurements help understand the strengths and weaknesses of the model, guiding improvements and adjustments (Hossin and Sulaiman, 2015; Vujović, 2021). Some evaluation metrics commonly used in classification: Accuracy, Precision, Recall (Sensitivity), F1 Score, Area Under the ROC Curve (AUC-ROC), and Confusion Matrix (Fatourechi et.al. 2008; Liu et.al., 2014).

Accuracy is one of the most straightforward metrics used in evaluating classification models. It measures the proportion of correct predictions (both true positives and true negatives) among the total number of cases examined.

The accuracy of a model is calculated as:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (6)$$

where:

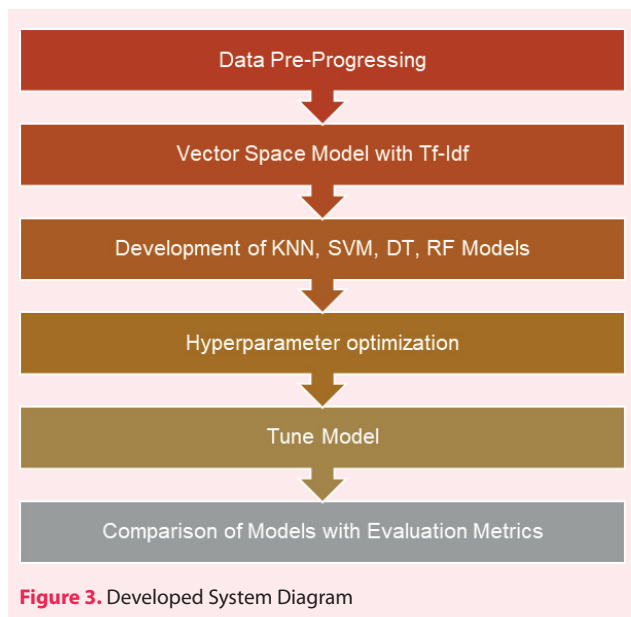
- $TP$  (True Positives) is the number of correct positive predictions,
- $TN$  (True Negatives) is the number of correct negative predictions,
- $FP$  (False Positives) is the number of incorrect positive predictions, and
- $FN$  (False Negatives) is the number of incorrect negative predictions.

### 3. Experiments

This study consists of six main chapters focusing on classifying Turkish legal texts. First, the Turkish legal dataset was pre-processed by applying natural language processing (NLP) techniques. This pre-processing phase involves making the texts ready for analysis. Secondly, a weighting process was applied to determine the importance of each term in the vector space model using the Term Frequency Inverse Document Frequency (tf-idf) method. This method assigns importance to words in the text based on their distribution in the document collection. In the third section, four different classification models based on supervised learning were developed with KNN, SVM, DT, and RF. These models are designed to be used to classify Turkish legal texts. In the fourth stage, hyperparameter optimization was performed to improve the performance of these classification models. This optimization helped determine the necessary model parameters to ensure the best performance. The fifth part includes the installation of tuned models after optimization processes. This phase involves creating final versions of the developed classification models by integrating the optimization process results. In the last section, the classification performances of the developed models were compared using the accuracy evaluation metric. This evaluation reveals the effectiveness and reliability of the models in the legal text classification task. The study's methodology is visualized with the system diagram presented in Figure 3.

Firstly, legal experts were interviewed to analyze the divorce and zoning decision texts to be used in the study. As a result of these interviews, information not necessary for the research, such as the subject of the application and the application process, was removed from the decision texts. Figure 4 shows the sample structure of the decision text, and Figure 5 shows the sample structure obtained after the data preprocessing process.

The court decision texts were later added to the Excel



work file. In the study, decisions regarding “zoning” are defined as “1,” and decisions regarding “divorce” are defined as “0” in the Excel file. Figure 6 shows the Excel data set’s first 20 decision texts and class information.

In this research, the classification study of Turkish legal texts begins with applying natural language processing techniques. First, a comprehensive data preprocessing process was applied to make the legal texts suitable for analysis. This process involves converting texts into a standard form and cleaning out elements unnecessary for analysis. The data preprocessing steps performed on the data in the study are shown in Figure 7.

Figure 8 shows the data’s appearance before and after applying stopwords, noisy entity removal, and lowercase operations, which are data pre-processing steps. After these processes, frequently recurring words and noisy data were removed from the data, and uppercase letters were converted to lowercase letters.

The study used the Term Frequency - Inverse Document Frequency (TF-IDF) method for vector representation and classification of Turkish legal texts. TF-IDF calculates the importance of a word in a document by evaluating the frequency of that word in the document (TF) and the rarity of the word in the entire document collection (IDF) (Yun-tao et.al., 2005; Bafna et.al., 2016). This is a practical feature extraction method frequently used in text mining and natural language processing. The TF-IDF method used in classifying Turkish legal texts is a powerful tool to reveal semantic differences between documents and represent texts. This method allows the creation of high-quality features necessary for training classification models.

When calculating the *tf* text frequency value, the ratio of the number of terms in the sentence to the total number of words in the sentence is considered. The calculation method is shown in Equation 7.

$$tf(t, d) = \frac{f_{t,d}}{\sum_{t' \in d} f_{t',d}} \quad (7)$$

The *idf* importance value is the base two logarithms of the ratio of the total number of sentences to the total number of the selected term in all sentences. The calculation method is shown in Equation 8.

$$idf = (t, D) = \log \frac{N}{|\{d \in D : t \in d\}|} \quad (8)$$

After calculating the *tf* and *idf* values, the *tf-idf* value of each word is obtained by multiplying the two values. The calculation method is shown in Equation 9.

$$tfidf = (t, d, D) = tf(t, d) \cdot idf(t, D) \quad (9)$$

In the study, *tf-idf* vector calculations were made for all words in the data set. Figure 9 shows an example of the calculated *tf-idf* values of words.

In the third part of the research, models were developed



using KNN, SVM, DT, and RF algorithms. To improve the performance of these models, a comprehensive hyperparameter optimization process was conducted using the GridSearchCV object of the scikit-learn library. In GridSearchCV, separate models were built for each of the determined hyperparameter values, and the hyperparameter combination that provided the highest accuracy rate was determined. Figure 10 shows the accuracy rates

of each model depending on parameter changes. Table 2 shows the hyperparameter values that provide the most successful results.

After the hyperparameter optimization process was completed, the performances of the final models were analyzed using the accuracy evaluation criterion. According to these evaluation results, the Support Vector

Cases	Class
1	0
2	0
3	0
4	1
5	1
6	0
7	1
8	0
9	0
10	0
11	1
12	1
13	0
14	1
15	1
16	1
17	0
18	0
19	1
20	0
21	1

Figure 6. Excel representation of data set content

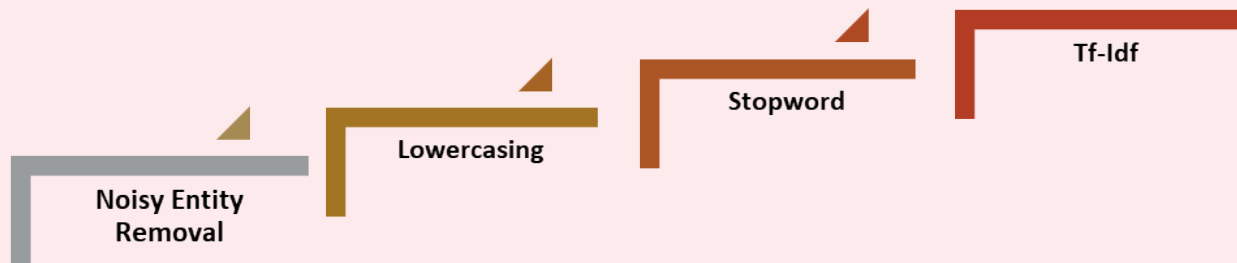


Figure 7. Data preprocessing steps performed in the study

Before Data Preprocessing		Data Preprocessing	After Data Preprocessing	
Tür	Konu		Tür	Konu
0	0 ve müşterek çocuğun yurt dışında bulunan mutat...	<pre>nlTK.download('stopwords') from nltk.corpus import stopwords sw = set(stopwords.words('turkish'))</pre>	0	0 müşterek çocuğun yurt dışında bulunan mutat me...
1	0 aile mahkemesi tarafından verilen tedbir karar...	<pre>[nltk_data] Downloading package stopwords to [nltk_data] C:\Users\Administrator\AppData\Roaming\nltk_data... [nltk_data] Package stopwords is already up-to-date!</pre>	1	0 aile mahkemesi tarafından verilen tedbir karar...
2	1 taşınmazın planda önce kamu hizmeti alanına ay...	<pre>sw {   'ne',   'neden',   'nerde',   'nerede',   'nereye',   'niye',   'niçin',   'o',   'sanki',   'siz',   'tüm',   've',   'veya',   'ya',   'yani',   'çok',   'çünkü',   'şey',   'su' }</pre>	2	1 taşınmazın planda önce kamu hizmeti alanına ay...
3	1 belediyenin dere yatağını imara açmasından kay...		3	1 belediyenin dere yatağını imara açmasından kay...
4	0 aile birliğinin temelden sarsılması nedenine d...		4	0 aile birliğinin temelden sarsılması nedenine d...

Figure 8. Data appearance before and after applying data preprocessing

Machines model was determined to have the highest performance, with an average accuracy value of 90%. The performance results of all models included in the study are shown in Figure 11.

These findings comparatively evaluate the effectiveness of these classification models on the legal text classification task and show that the SVM model achieves a significantly higher accuracy rate than other models in this particular context. These results underline that using the SVM model in classifying legal texts can produce high-performance results under specific hyperparameter settings.

## 4. Results and Discussion

This research addresses how Artificial Intelligence (AI) techniques can effectively classify legal texts in the face of increasing volumes of legal data. In particular, a study was conducted to classify court decisions in Turkey categorically. In this context, a data set containing divorce and zoning situations was created, and basic classification models were developed using K-nearest neighbors (KNN), Support Vector Machines (SVM), Decision Trees (DT), and Random Forests (RF) algorithms. Hyperparameter optimization was performed to increase the performance of the models, and improved models were created as a result of this process, which was supported by the 10-fold cross-validation method. The main finding of the research is that the SVM model performs best after hyperparameter optimization with an impressive average accuracy rate of 90%. This result shows that the SVM model is superior to other traditional classification methods in the legal text classification task, especially under specific hyperparameter settings.

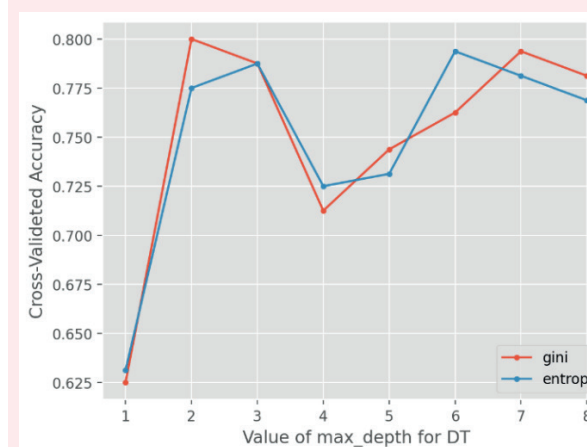
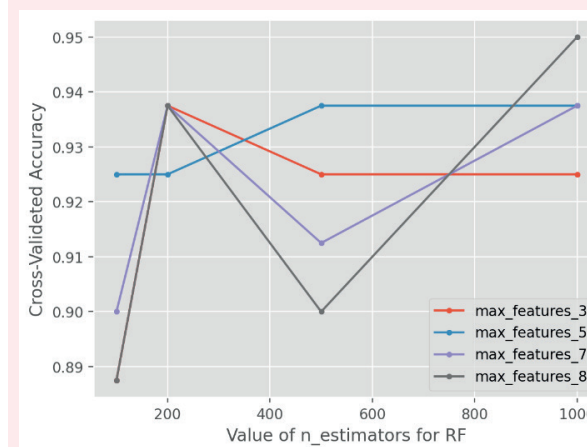
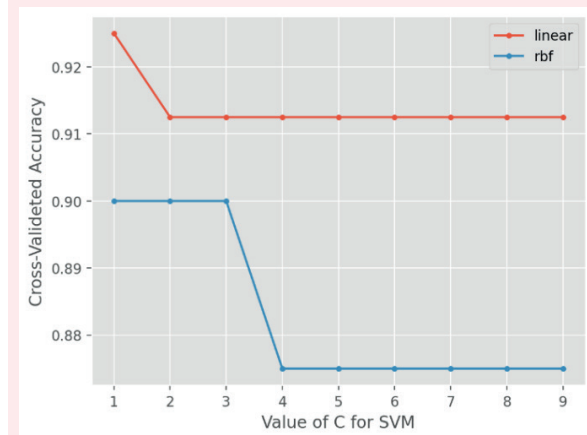
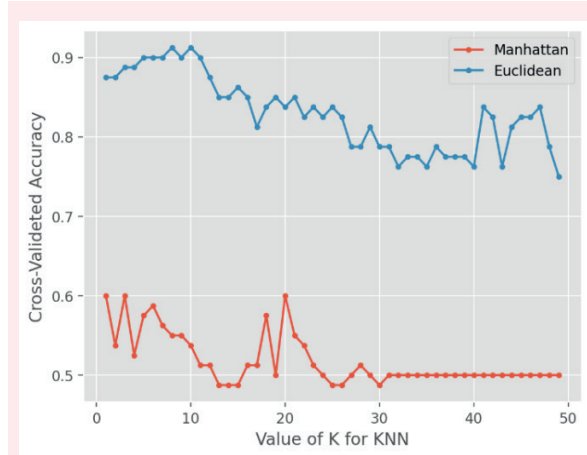
**Table 2.** Hyperparameter results of models

Models	HyperParameters	Value
K-Nearest Neighbors Model	n_neighbors	8
	p(metric)	Euclidean
Support Vector Machines Model	c	1
	kernel	linear
Random Forest Model	max_features	8
	n_estimators	1000
Decision Tree Model	criterion	gini
	max_depth	2
	min_samples_split	3

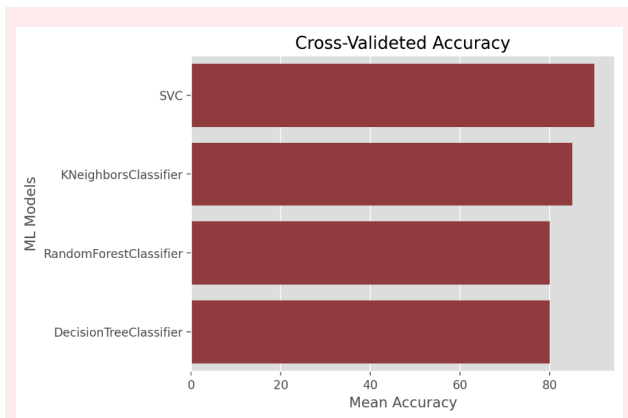
```
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer
tf=TfidfVectorizer()
text_tf= tf.fit_transform(df['Konu'])
print(text_tf)
```

```
(0, 652)    0.33707466117274276
(0, 360)    0.2221086378643965
(0, 190)    0.33707466117274276
(0, 284)    0.33707466117274276
(0, 439)    0.33707466117274276
(0, 447)    0.3156044606996708
```

**Figure 9.** Example of calculated TF-IDF values for words in the dataset.



**Figure 10.** Accuracy rates of models depending on parameter changes



**Figure 11.** Accuracy results of the models

The research revealed how natural language processing and machine learning techniques can effectively classify Turkish legal texts. This work also provided valuable insights into optimizing the hyperparameters of specific machine-learning models. This optimization process is a critical step that significantly improves the model's performance. Additionally, this study has significantly contributed to legal technology applications by revealing the applicability of machine learning models in legal text classification.

This study fills a significant gap compared to the existing literature by focusing on the classification of Turkish court decisions, which is an under-researched area according to international law texts. Previous studies have mainly focused on legal documents from other jurisdictions, such as European (Kaur and Bozic, 2019; Cui et al., 2023) and American (Lí et al., 2019; Eliot, 2020) case law. The focus of this study on Turkish legal texts brings a new dimension to the field of legal informatics. It reveals the applicability and effectiveness of artificial intelligence in a different legal system.

The originality of this research lies in its application of


artificial intelligence techniques to classify Turkish legal texts that are unique in terms of their linguistic and legal characteristics, especially divorce and zoning cases. This study highlights the potential of machine learning in improving the efficiency and accuracy of legal document classification, especially by achieving a high accuracy rate with the SVM model. In addition to contributing to legal informatics, this research also provides a practical tool for lawyers in Turkey.

Future research should focus on expanding the types of legal documents analyzed and increasing the dataset size to increase the robustness and generalizability of the models. Additionally, integrating pre-trained language models such as BERT and GPT-4 can further improve classification accuracy and provide deeper insights into the semantic structures of legal texts. These advances can significantly benefit legal technology practices and assist legal professionals in their research and decision-making processes.

As a result, this research has made significant contributions to developing effective machine learning models for Turkish legal text classification. The findings obtained may guide future studies on model selection and hyperparameter optimization. In addition, this study will contribute to the development of legal technology applications by providing a solid basis for legal text analysis and classification research. Finally, for future research to proceed successfully and expand the applications of artificial intelligence in the field of law, case texts in the Republic of Turkey need to be made more widely available online. This will expand the scope of legal text classification studies and allow more effective use of artificial intelligence technologies in legal research and applications.

## Orcid

Tülay Turan  <https://orcid.org/0000-0002-0888-0343>

Ecir Uğur Küçükşille  <https://orcid.org/0000-0002-3293-9878>

## References

- Alarie, B., Niblett, A., Yoon, A. H. (2018). How artificial intelligence will affect the practice of law. *University of Toronto Law Journal*, 68(1): 106-124.
- Aletras, N., Tsarapatsanis, D., Preoçiuc-Pietro, D., Lampos, V. (2016). Predicting judicial decisions of the European Court of Human Rights: A natural language processing perspective. *PeerJ computer science*, 2, e93.
- Alhakeem, Z. M., Jebur, Y. M., Henedy, S. N., Imran, H., Bernardo, L. F., Hussein, H. M. (2022). Prediction of ecofriendly concrete compressive strength using gradient boosting regression tree combined with GridSearchCV hyperparameter-optimization techniques. *Materials*, 15(21): 7432.
- Ali, J., Khan, R., Ahmad, N., Maqsood, I. (2012). Random forests and decision trees. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 9(5): 272.
- Ashley, K. D., Brüninghaus, S. (2009). Automatically classifying case texts and predicting outcomes. *Artificial Intelligence and Law*, 17:125-165.
- Awad, M., Khanna, R., Awad, M., Khanna, R. (2015). Support vector machines for classification. *Efficient learning machines: Theories, concepts, and applications for engineers and system designers*, 39-66.
- Aydemir, E. (2023). Estimation of Turkish Constitutional Court Decisions in Terms of Admissibility with NLP. In 2023 IV International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NeuroNT), IEEE, pp. 17-20.
- Bafna, P., Pramod, D., Vaidya, A. (2016). Document clustering: TF-IDF approach. In 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), IEEE, pp. 61-66.
- Benedetto, I., Sportelli, G., Bertoldo, S., Tarasconi, F., Cagliero, L., Gicalone, G. (2023). On the use of Pretrained Language Models for Legal Italian Document Classification. *Procedia Computer Science*, 225: 2244-2253.
- Boella, G., Di Caro, L., Humphreys, L. (2011). Using classification to

- support legal knowledge engineers in the Eunomos legal document management system. In Fifth international workshop on Juris-informatics (JURISIN).
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45: 5-32.
- Chalkidis, I., Androutsopoulos, I., Aletras, N. (2019). Neural legal judgment prediction in English. arXiv preprint arXiv:1906.02059.
- Charbuty, B., Abdulazeez, A. (2021). Classification based on decision tree algorithm for machine learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(01): 20-28.
- Chen, H., Wu, L., Chen, J., Lu, W., Ding, J. (2022). A comparative study of automated legal text classification using random forests and deep learning. *Information Processing & Management*, 59(2), 102798.
- Cui, J., Shen, X., Wen, S. (2023). A survey on legal judgment prediction: Datasets, metrics, models and challenges. *IEEE Access*.
- Cutler, D. R., Edwards Jr, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., Lawler, J. J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88(11):2783-2792.
- Eliot, L. (2020). Legal judgment prediction (ljp) amid the advent of autonomous ai legal reasoning. *arXiv preprint arXiv:2009.14620*.
- Fatourechi, M., Ward, R. K., Mason, S. G., Huggins, J., Schlögl, A., Birch, G. E. (2008). Comparison of evaluation metrics in classification applications with imbalanced datasets. In 2008 seventh international conference on machine learning and applications, IEEE, pp. 777-782.
- Feurer, M., Hutter, F. (2019). Hyperparameter optimization. *Automated machine learning: Methods, systems, challenges*, 3-33.
- Görentaş, M. B., Uçkan, T., Arlı, N. B. (2023). Uyuşmazlık Mahkemesi Kararlarının Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Sınıflandırılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3): 947-961.
- Gunn, S. R. (1998). Support vector machines for classification and regression. *ISIS technical report*, 14(1): 5-16.
- Gupta, B., Rawat, A., Jain, A., Arora, A., Dhama, N. (2017). Analysis of various decision tree algorithms for classification in data mining. *International Journal of Computer Applications*, 163(8): 15-19.
- Hearst, M. A., Dumais, S. T., Osuna, E., Platt, J., Scholkopf, B. (1998). Support vector machines. *IEEE Intelligent Systems and their applications*, 13(4): 18-28.
- Hirschberg, J., Manning, C. D. (2015). Advances in natural language processing. *Science*, 349(6245): 261-266.
- Hossin, M., Sulaiman, M. N. (2015). A review on evaluation metrics for data classification evaluations. *International journal of data mining & knowledge management process*, 5(2): 1.
- Kalia, A., Kumar, N., Namdev, N. (2022). Classifying case facts and predicting legal decisions of the indian central information commission: a natural language processing approach. In Advances in Deep Learning, Artificial Intelligence and Robotics: Proceedings of the 2nd International Conference on Deep Learning, Artificial Intelligence and Robotics, (ICDLAIR), pp. 35-45.
- Kartini, D., Nugrahadı, D. T., Farmadi, A. (2021). Hyperparameter tuning using GridsearchCV on the comparison of the activation function of the ELM method to the classification of pneumonia in toddlers. In 2021 4th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE), IEEE., pp. 390-395.
- Kaur, A., Bozic, B. (2019). Convolutional Neural Network-based Automatic Prediction of Judgments of the European Court of Human Rights. In AICS, pp. 458-469.
- Laaksonen, J., Oja, E. (1996). Classification with learning k-nearest neighbors. In Proceedings of international conference on neural networks (ICNN'96) IEEE, pp. 1480-1483.
- Lei, M., Ge, J., Li, Z., Li, C., Zhou, Y., Zhou, X., Luo, B. (2017). Automatically classify chinese judgment documents utilizing machine learning algorithms. In Database Systems for Advanced Applications: DASFAA 2017 International Workshops: BDMS, BDQM, SeCoP, and DMMOOC, Suzhou, China, March 27-30, 2017, Proceedings 22, pp. 3-17.
- Li, Q., Peng, H., Li, J., Xia, C., Yang, R., Sun, L., He, L. (2020). A survey on text classification: From shallow to deep learning. arXiv preprint arXiv:2008.00364.
- Li, S., Zhang, H., Ye, L., Guo, X., Fang, B. (2019). Mann: A multichannel attentive neural network for legal judgment prediction. *IEEE Access*, 7, 151144-151155.
- Liu, Y., Zhou, Y., Wen, S., Tang, C. (2014). A strategy on selecting performance metrics for classifier evaluation. *International Journal of Mobile Computing and Multimedia Communications (IJMCMC)*, 6(4): 20-35.
- Mucherino, A., Papajorgji, P. J., Pardalos, P. M., Mucherino, A., Papajorgji, P. J., Pardalos, P. M. (2009). K-nearest neighbor classification. *Data mining in agriculture*, 83-106.
- Nineesha, P., Deepalakshmi, P. (2022). Automated Techniques on Indian Legal documents: A Review. In 2022 Third International Conference on Intelligent Computing Instrumentation and Control Technologies (ICICT), IEEE, pp. 172-178.
- Patel, H. H., Prajapati, P. (2018). Study and analysis of decision tree based classification algorithms. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(10): 74-78.
- Sert, M. F., Yıldırım, E., Haşlak, İ. (2022). Using Artificial Intelligence to Predict Decisions of The Turkish Constitutional Court. *Social Science Computer Review*, 40(6):1416-1435.
- Turan, T. (2023). "Açıklanabilir Yapay Zeka İle Hukuki Metin Analizi", (Phd Thesis). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Tagarelli, A., Simeri, A. (2022). Unsupervised law article mining based on deep pre-trained language representation models with application to the Italian civil code. *Artificial Intelligence and Law*, 30(3): 417-473.
- Turan, T., Küçüksille, E., Alagöz, N. K. (2023). Prediction of Turkish Constitutional Court Decisions with Explainable Artificial Intelligence. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 7(2): 128-141.
- Vujović, Ž. (2021). Classification model evaluation metrics. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(6): 599-606.
- Wang, Z., Wang, B., Duan, X., Wu, D., Wang, S., Hu, G., Liu, T. (2019). IFlyLegal: a Chinese legal system for consultation, law searching, and document analysis. In Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP): System Demonstrations, pp. 97-102.
- Yang, L., Shami, A. (2020). On hyperparameter optimization of machine learning algorithms: Theory and practice. *Neurocomputing*, 415: 295-316.
- Yun-Tao, Z., Ling, G., Yong-cheng, W. (2005). An improved TF-IDF approach for text classification. *Journal of Zhejiang University-Science*, 6(1): 49-55.
- Zhang, D., Zhang, H., Wang, L., Cui, J., Zheng, W. (2022). Recognition of Chinese legal elements based on transfer learning and se-



mantic relevance. *Wireless Communications and Mobile Computing*

Zhong, H., Xiao, C., Tu, C., Zhang, T., Liu, Z., Sun, M. (2020). How does

NLP benefit legal system: A summary of legal artificial intelligence, arXiv preprint arXiv:2004.12158



# Mimari tasarımda kendiliğinden yapılanma “self assembly” kavramı ve iç mekânda kullanım olanakları

## Self-Assembly material in architectural design and possibilities of use in interior architecture

Nisa Nur Göksel\*<sup>1</sup> , Nuriye Nida Çelebi Şeker<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

**Özet:** Sosyal ve fen başlıca olmak üzere birçok disiplinle ilişkili olan mimari tasarım, gerçekleşen yeniliklerden etkilenebilmektedir. Özellikle malzeme, yapım yöntemleri ve uygulamaya yönelik yapılan multidisipliner çalışmaların etkileri yapılarda, iç mekânlarda ve kent ölçeğinde okunabilmektedir. Çalışma kapsamında ele alınan kendiliğinden yapılanma “self assembly” kavramı düzensiz haldeki bir sistemin, herhangi bir dış etki olmaksızın malzemenin bileşenleri arasındaki etkileşimler yoluyla düzenli bir örüntü veya organize bir yapıya dönüştüğü süreç olarak tanımlanmaktadır. Çalışmanın temel amacı kendiliğinden yapılanma kavramının mimari tasarım alanında yapılan çalışmalar üzerinden incelenmesi ve iç mekânda kullanım olanaklarının tespit edilmesidir. Çalışmanın yönteminde beş aşamadan oluşan karma araştırma deseni kullanılmaktadır. Çalışmanın sonucunda kendiliğinden yapılanma kavramının yapısal ve yapısal olmayan iç mekândaki öğelere çeşitli açılardan yenilikler getirdiği tespit edilmiştir. Yapısal elemanların zorlayıcı fiziksel koşullara göre tekrar yapılanarak uyum göstermesi, akıllı liflerle kompozit malzemelerin oluşturulması gibi olumlu sonuçlar elde edildiği; yapısal olmayan her türlü geçici ve kalıcı strüktür, form, biçim ve yüzey elemanlarında da hem işlevsel hem estetik yenilikler getirdiği görülmektedir. Mimari tasarımda kendiliğinden yapılanma kavramının uygulama, tasarım, nakliye sürecinde de sürdürülebilirlik bağlamında birçok olumlu etkisi olacağı gibi tamamen robotik özellik gösteren iç mekân öğelerinin de dijital saldırılara ve hatalara açık olacağı gibi olumsuz etkilerinin de oluşacağı öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kendiliğinden Yapılanma, Yapı Teknolojisi, Akıllı Malzeme, Mimari Tasarım, İç Mekân.

**Abstract:** Architectural design, which is related to many disciplines, especially social and science, is directly or indirectly affected by the innovations. The effects of multidisciplinary studies, especially on materials, construction methods and application, can be seen in building masses, interior spaces and at the urban scale. The concept of Self-Assembly discussed within the scope of the study is explained as a process in which an irregular system turns into a regular pattern or organized structure through the interactions between the components of the material, without any external influence. The main purpose of the study is to examine the concept of self-organization through studies conducted in the field of architectural design and to determine the possibilities of use in interior spaces. The method of the study uses a mixed research design based on content analysis. The method of the study consists of five stages. As a result of the study, it was determined that the concept of self-structuring brought various innovations to structural and non-structural interior elements. As a result, positive results such as the adaptation of structural elements to challenging physical conditions and the creation of composite materials with smart fibers have been achieved; It is seen that it brings both functional and aesthetic innovations in all kinds of non-structural temporary and permanent structures, forms, shapes, and surface elements.

**Keywords:** Self Assembly, Building Technology, Smart Materials, Architectural Design, Interior Space.

## 1. Giriş

Disiplinler arası yapılan çalışmalar mimari tasarım kuramını ve uygulama alanlarının kapsamını genişletmektedir. Özellikle mühendislik ve bilim alanlarının mimari tasarıma entegre edilmesi sonucu yenilikçi çalışmalar

ortaya çıkmaktadır. Mimari tasarımda akıllı malzemeler kavramı metalurji, bilgisayar ve elektronik mühendisliği ile ortak yapılan çalışmalar ile literatürde yer edinmektedir. Kendiliğinden yapılanma “Self-assembly” kavramı da akıllı malzemeler başlığı altında incelenebilecek, oldukça

\*İletişim Yazarı / Corresponding author. Eposta/Email : ngoksel@fsm.edu.tr

Geliş / Received: 24.07.2024, Revizyon / Revised: 16.08.2024

Kabul / Accepted: 31.08.2024



ça yeni bir uygulama yöntemi ve yapı malzemesi olarak uluslararası literatürde yer edinmiştir. 1990'ların başından itibaren programlanabilir malzemeler ve kendiliğinden yapılanma kavramı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle DARPA'nın (ABD Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı) Programlanabilir Malzeme adlı projeyi finanse etmesi ile bu alandaki çalışmalar 2007'de hızlanmaya başlamıştır.

Doğan Hasol (2021)'un mimarlık tanımına göre mimari tasarım ürünleri topluma yararlılık, yaratıcılık-yenilik, sürdürülebilirlik, çağdaş dil, kimlik, çevreye duyarlılık, estetik değer, iç-dış uyumu, doğru strüktür, işlevsellik, ekonomik olma gibi ölçütlerin yanı sıra ekoloji, yapı fiziği, otomasyon gibi uzmanlık katkılarını da bünyesinde bulundurmaya konumundadır. Yapı sektöründe sürekli olarak yaşanan gelişmelerle elde edilen, yeni teknoloji ve ürünlerin sürdürülebilirliği ve enerjinin verimli kullanımı da kilit unsurlar arasındadır (Tavşan ve ark., 2021). Dolayısıyla mimari tasarım ürününü ileriye taşıyacak her türlü yöntem ve çalışma oldukça önem taşımaktadır.

Self Assembly Laboratuvarı da mimari tasarıma inovasyon kazandıracak çalışmalar gerçekleştiren araştırma laboratuvarlarından biri olarak ele alınmaktadır. Kendiliğinden yapılanabilir özellikli malzemelerin mimari tasarımda kullanımına yönelik araştırmaların 2009-2010 yıllarında Self Assembly Lab'in kurulması ile başladığı görülmektedir (URL-1, 2023). Mimari tasarımda "self assembly" kavramı, henüz mesleki terim sözlüğünde yer edinmediğinden, çalışma kapsamında genel kelime karşılığı "kendiliğinden/öz hareketli olma", "kendiliğinden / öz toparlanma" "kendiliğinden yapılanma" olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda bakıldığında literatürde auxetic (oksetik) malzemeler, origami ile oluşturulan kendiliğinden hareketli strüktür araştırmaları da kendiliğinden yapılanabilir olarak nitelendirilebilmektedir. Bu malzemeler kendini harekete geçirebilir, kendi kendine çalışabilir ve harekete geçebilir özellik göstermektedirler. Kendiliğinden yapılan malzemenin yanıt verebilmesini kontrol eden durum, malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Sevinç, 2023). Bu nitelikler malzemeye sonradan eklenen, kendi yapısı harici özellikler olarak kabul edilmemektedir. Bu nedenle malzemeye sonradan kazandırılan origami mantığı ile katlanabilen, şekil hafızalı malzemeler veya auxetic (oksetik) malzemeler çalışma kapsamında ele alınan kendiliğinden yapılanabilir özellikli malzemenin farklılık göstermektedir.

Çalışmada ele alınan kendiliğinden yapılanma kavramı, origami yöntemi ile auxetic özellik gösteren malzeme araştırmalarından farklı olarak, malzemenin programlanarak şekil hafızasının kazandırıldığı malzeme özelliklerine dayanmaktadır. Çalışmanın temel amacı kendiliğinden yapılanma kavramını mimari tasarım alanında yapılan çalışmalar üzerinden incelenmesi ve iç mekânda kullanım olanaklarının tespit edilmesidir. Ana amaç altında oluşturulan alt amaçlar aşağıda listelenmektedir:

- Kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımların,

üretim ve uygulama tekniklerinin tespit edilmesi

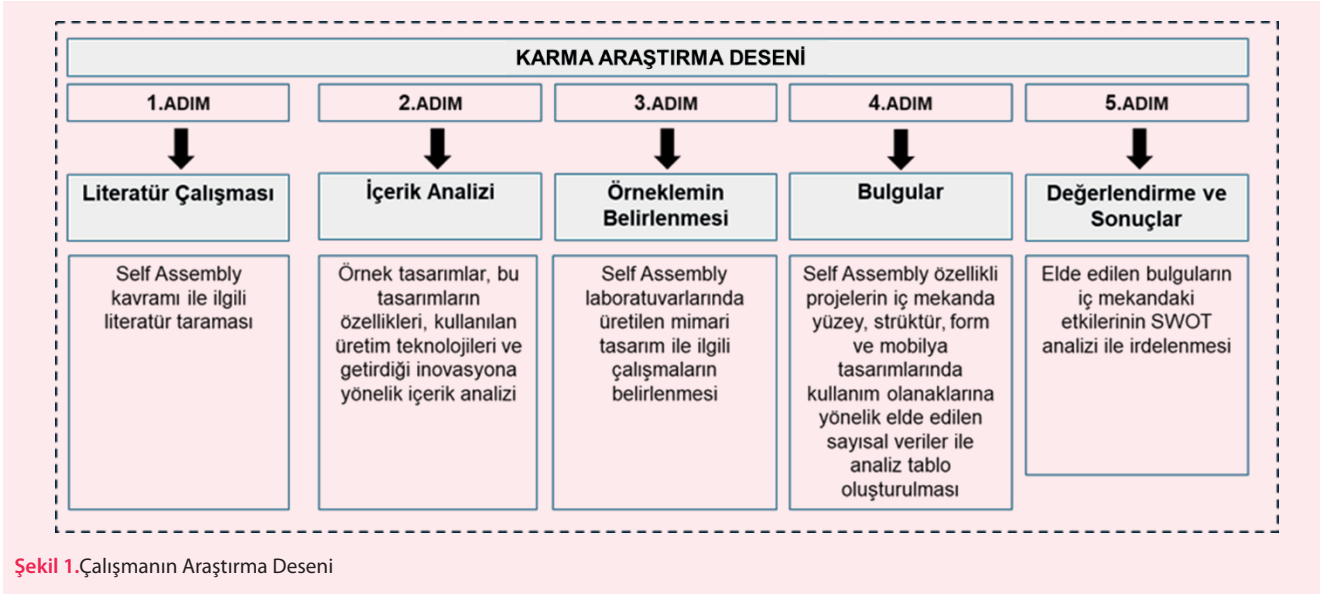
- Kendiliğinden yapılanma kavramı üzerine tasarım disiplininde yapılan uygulamalı çalışmaların ve laboratuvarlarda kullanılan teknolojilerin tespit edilmesi
- Kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımların getirdiği yenilik ve olanakların tespit edilmesi
- Kendiliğinden yapılanma kavramının iç mekânda kullanım olanaklarının ve kullanımının sonuçlarının tespit edilmesi

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın yönteminde beş aşamadan oluşan karma araştırma deseni kullanılmaktadır (Şekil 1). İlk olarak "kendiliğinden yapılanma kavramı" ile ilgili ulusal ve uluslararası bilimsel araştırmalar incelenerek çalışmanın literatürel alt yapısı oluşturulmuştur. Çalışmanın ikinci adımında, "kendiliğinden yapılanma" özelliği gösteren örnek tasarımlar, bu tasarımların özellikleri, üretildiği laboratuvarlar ve kullanılan üretim teknolojileri ile ilgili irdelemeler yapılmıştır. Üçüncü adımda bu süreç ile tasarlanan iç mekânda kullanıma referans olabilecek çalışmalar incelenerek örneklem grubu belirlenmiştir. Dördüncü adımda örnekleme oluşturan projeler çeşitli kaynaklar üzerinden elde edilen parametrelerle analiz edilmiş ve frekans (sıklık) analizi ile elde edilen yüzdeler tablo oluşturularak açıklanmıştır. Kendiliğinden yapılanma özelliği gösteren örnek projelerin iç mekânlarda yüzey, strüktür, form ve mobilya tasarımlarına yönelik getirdiği yeniliklere yer verilmiştir. Son olarak ise elde edilen bulgular ve kendiliğinden yapılanma kavramının iç mekânda tasarıma etkileri SWOT analizi yöntemi ile irdelenerek ortaya konmuştur. YÖK Tez (2023) veri tabanı "self assemble" anahtar sözcüğü ile tarandığında tasarım, mimarlık, iç mimarlık alanlarında henüz konu ile ilgili doğrudan çalışma yapılmadığı görülmektedir. Veri tabanında elde edilen lisansüstü tez çalışmalarının ise ağırlıklı olarak temel bilimler ve mühendislik bilim dallarına ait olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmanın tasarım literatürüne "kendiliğinden yapılanma kavramının" kazandırılmasına ve tasarımda akıllı malzeme kullanımına yönelik literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Uluslararası literatürde de tasarım disiplininde kullanımına yönelik çalışmaların oldukça güncel olması nedeniyle tasarımcıları ve araştırmacıları da konu hakkında bilinçlendireceği, literatüre Türkçe kaynak olarak katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

## 3. Kendiliğinden Yapılanma "Self-Assembly" Kavramı

Çalışmanın ikinci kısmında "self assemble" "self assembly" ve "programlanabilir malzeme" kavramları üzerinde durularak, literatürde edinilen bilgilere değinilerek kavramsal açıklamalara yer verilmektedir. Literatürde



“self assemble” kavramı üzerinde pek çok farklı tanım bulunmaktadır. Kendiliğinden yapılanma (Self assembly); bir insanın veya makinenin uygulamaya ait çeşitli plan, detay, kroki vb. gibi bir montaj talimatına ihtiyaç duymadan doğrudan programlanmış montaj bilgisi ile uygulanması olarak tanımlanmaktadır (Mehdizadeh ve Tessmann, 2023). Uygulaması yapılacak bir yüzeyde, mobilyada veya herhangi bir objede kullanılacak malzemenin mikro geometrisinde montaj bilgisini kaydetme özelliği olarak da ifade edilmektedir. “Self assembly” kavramı ise “kendiliğinden yapılanma” olarak literatüre kazandırılarak; düzensiz bir sistemin, herhangi bir dış etki olmaksızın, malzemenin bileşenleri arasındaki yerel etkileşimler yoluyla düzenli bir örüntü veya organize bir yapıya dönüştüğü bir süreç olarak açıklanmaktadır (Koçak, 2021). Bu nedenle kendiliğinden yapılanma özelliğinin, yeni malzemelerin üretiminde ve araştırılmasında büyük bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Literatürdeki çalışmaların çoğu kimya ve metalurji ile ilişkili moleküler düzeydeki kendiliğinden yapılanma üzerine odaklansa da kendiliğinden yapılanma işlemlerinin daha büyük ölçeklerde mimarlık alanında da birçok ufuk açıcı uygulaması bulunmaktadır.

Skyler Tibbits, MIT’deki Self Assembly Lab’in kurucusu ve mimari tasarımda kullanımına yönelik araştırmaları başlatan ilk araştırmacıdır. Objenin parçalarının ve doğrudan malzemenin programlanmasına yönelik çalışmalar ilk olarak MIT’de yapılmaya başlanmıştır. Tibbits bir uygulamanın veya sürecin “kendiliğinden yapılanabilir” olarak nitelendirilebilmesi için:

- Sistemin tüm parçalarının geometrik olarak basit olması
- Sistemin en az iki farklı duruma sahip olabilmesi (örneğin, açık/kapalı veya bağlı/ayrılmış)
- Sistemin istenilen talimat dizisine yanıt verebilmesi

- Basit bir montaj sırası / dizisine sahip olması
- Parçaların da programlanabilir olması
- Aktive edilmesi için bir başlangıç kuvvetine (F0) veya enerjiye gerek olması
- Arıza durumunda kullanmak için parçaların yedeklenebilir olması gerektiğini belirtmektedir (Tibbits, 2010).

Logic Matter adlı yüksek lisans tezinde, “kendiliğinden yapılanma” ve “rehberli kendiliğinden yapılanma” özellikli tasarımın parçalarının, kendi geometrilerini ve kodla yazılan montaj bilgileri aracılığıyla etkinleştirildiğini özetle programlanabilir malzeme özellikli olduğunu belirtmektedir (Tibbits, 2010). DNA, RNA veya hücre gibi biyolojik modellerdeki strüktürlerin hiyerarşisini, tasarımda düzenekleri oluşturmaya yönelik bir teknik olarak kullanılmaktadır. İnsan vücudunun kendi kendini onarması, büyümesi ve genetik kodların aktarılması sürecine benzetilen kendiliğinden yapılanma; malzemenin veya formun kendisini bir canlı gibi ele alıp, küçük devrelerle programlanarak hareket özelliğinin kendiliğinden gerçekleşmesini sağlamaktadır (Şekil 2).

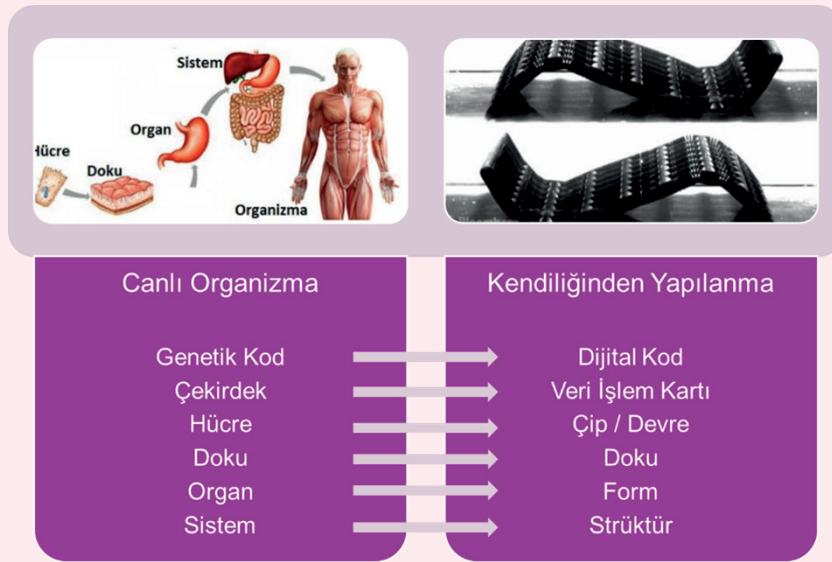
Kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımlar yeniden ve uzun süreli kullanım açısından önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir (Mehdizadeh ve Tessmann, 2023). Düzensiz parçaların kendi kendine sistematik olarak bir araya gelebilmesi, ayrılması; bozulduğunda veya yıprandığında parçasının yedeklenebilir ve kolayca onarılabılır olması alışılabilir malzeme özelliklerinin oluşturduğu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır (Menges ve Tibbits, 2012). Basit ve metaforik bir şekilde kendiliğinden yapılanma bir masadaki düzensiz objelerin kendiliğinden hareket ederek sistematik şekilde bir araya gelerek işlevsel yeni bir ürün ortaya çıkarması olarak da ifade edilmektedir (URL-25, 2023).

Malzeme biliminde nanoyapıların üretimi, karıştırılan bir kapta statik veya dinamik kendiliğinden birleşme yoluyla gerçekleşebilmektedir (Dahman, 2017). Geleneksel yapı malzemesinin ise şantiye ortamlarında yerinde montajı genellikle ayrı ayrı tasarlanmış ve özel amaçlara yönelik makinelerin kullanıldığı karmaşık bir süreç ile gerçekleşmektedir. Günümüzde kullanılan makineler, şantiye koşullarında yoğun enerji ve zaman tüketmektedir (Tibbits ve Cheung, 2012). Programlanabilir kendiliğinden yapılanabilen yapı malzemesi sayesinde şantiye ortamında hem nakliye hem uygulama açısından enerji tasarrufu yapılacağı öngörülmektedir (Şekil 3). Malzemelerin içine gömülü bilgiler kendiliğinden yapılanan, kendi kendini onarabilen ve kendi kendini kopyalayan malzemeler sunmaktadır (Tibbits ve ark., 2014).

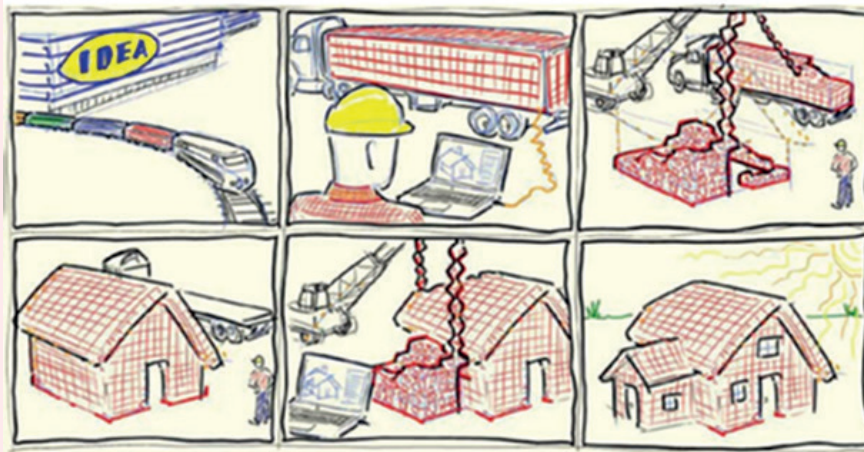
İnşaat sektörünün geleceğinde, gerçek zamanlı hesaplamalı analiz, otomatik montaj, kendi kendine onarım veya diğer kullanıcı tanımlı depolama ve hesaplama ihtiyaçlarını gerçekleştirebilen programlanabilir malzemeler tercih edileceği öngörülmektedir (Hawkes ve ark., 2010).

Malzemelerin içine gömülü bilgiler sayesinde, imalat ve montaj makinelerine güvenmek yerine otomatik olarak kendi kendini onaran ve kendi kendini kopyalayan malzemeler sunulabilmektedir (Tibbits ve Cheung, 2012). Ahşap ve karbon fiberlerden yapılan programlanabilir malzemeler sayesinde kumaşlardan inşaat malzemelerine kadar yapının çevresiyle etkileşim şeklinin değişeceği düşünülmektedir. Ahşap vb. yapı malzemeleri kendi kendine birleşecek şekilde programlanabilmekte, bu sayede mobilya satın alırken talimatlara veya ekipmanlara olan ihtiyacı da ortadan kalkmaktadır (Şekil 4).

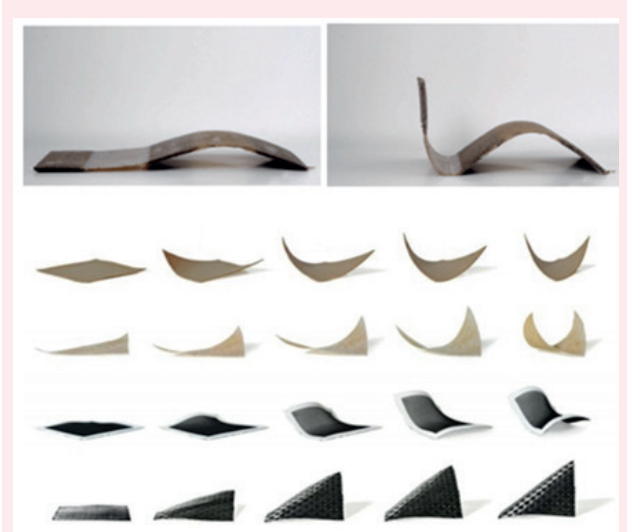
Programlanabilir malzemeler etkinleştirildiğinde malzemeye katlanmasını ve dönüşmesini söyleyen çok küçük robotların entegre edildiği kompozit özellikli malzemelerdir. Bu teknoloji malzemenin “dört boyutlu baskı” adı verilen teknik sayesinde baskı işlemi sırasında şekil değiştirme yeteneği kazanması olarak açıklanmaktadır. Örneğin MIT ekibinin ürettiği programlanabilir ahşap panelleri yazıcıyla belirli desenler halinde düzenlenen, özel plastik filamentler ve ahşap liflerin bileşimiyle oluş-



Şekil 2. Kendiliğinden Yapılanma ve Canlı Organizma İlişkisi



Şekil 3. Yapı malzemesi olarak kendiliğinden yapılanabilen programlanabilir malzemenin konut yapımında kullanımı (Tibbits ve Cheung, 2012).



Şekil 4. Programlanabilir ahşap, karbonfiber ve kumaş (Material District, 2015)

turulmaktadır. Ahşap paneller nemi emdiğinde ahşap lifleri genişlemekte ve basılı desenler talimat görevi görerek malzemeye ne yapması ve nereye taşınması gerektiğini yönlendirmektedir. Böylelikle düz bir ahşap levha sandalyeye dönüşebilmektedir. Geleneksel ahşap bükme teknikleri, kullanımı uzmanlık gerektiren karmaşık ekipmanlar kullanılarak şekillendirme işlemleri ile yapılmaktadır ancak böyle bir teknoloji sayesinde çok kolay ve hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Ayrıca ahşap damarının doğal deseni ve fiziksel özellikleri, karmaşık şekillere kıvrılmayı zorlaştırmaktadır. Yeni baskı ve kompozit malzeme teknolojileri artık ahşap şekillendirme sayesinde özel baskılı ahşap kompozitin düz levhaları, kontrollü yollarla kendiliğinden yapılanacak şekilde tasarlanabilmektedir (URL-2, 2024).

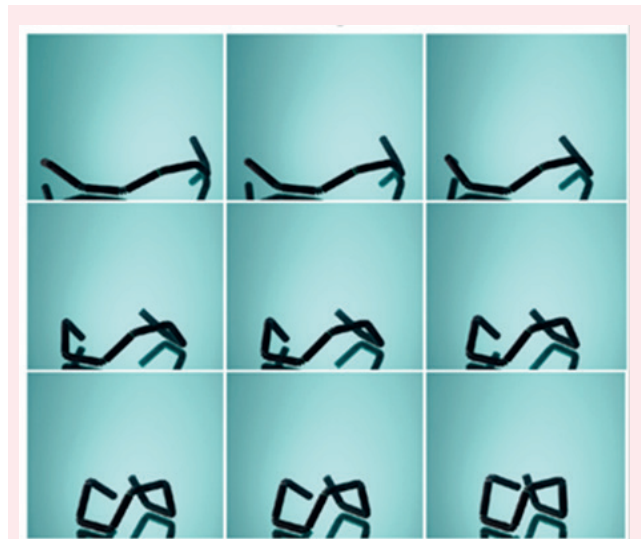
Programlanabilir malzemeler sayesinde malzemelerin özellikleri ve davranışlarının üretimden sonra sabit kalması gerekmekte; zaman içinde gelişecek şekilde kodlanabilmektedirler (Xia ve ark., 2022). Mekanik olarak tepki veren mimari malzemeler belirli bir şekle dönüşebilmekte ve uyarı kaldırıldıktan sonra bile yeniden yapılandırılmış geometriyi koruyabilmektedir (Xia ve ark., 2022). Bu malzemelerden biri olan auxetic malzemeler gerildiğinde veya sıkıştırıldığında deforme olup, esnek ve uyarlanabilirler ve çevrelerine tepki verebilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2017a). Auxetic malzemelerin kuvvetlere uyum sağlama yeteneği, kullanıcının vücut şekline, ağırlığına ve duruşuna uyum sağlayan sandalyelerin tasarlanmasına olanak sağlamaktadır.

Malzeme bilimi ve yumuşak robot teknolojisindeki ilerlemeler büyüeyebilen, uyum sağlayabilen ve dönüşebilen yeni malzemelerin yaratılmasına yol açmıştır. Tüm bu gelişmeler ışığında tasarımcılar kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlayan işlevsel performans ve değişken estetik anlayışlar için kendi kendini dönüştüren nesnelere yaratabilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2017a). Mimari tasarımda ise örneğin bina ölçeğinde, yardımcı malze-

melerin kubbe benzeri, senklastik yüzeyler (yani tüm yönlerde aynı tarafa doğru kıvrılan yüzeyler) oluşturma yeteneği, deforme olduğunda amorf şekillere dönüşen mimari yapıların oluşturulmasını sağlamaktadır. Buna ek olarak, aktif yardımcı malzemelerin ayarlanabilir desenleri, onları değişken ihtiyaçlara ve geçici işlevlere sahip çalışma ortamlarındaki ve kamusal alanlardaki bölücü-sınırlayıcı yüzeyler olarak kullanılabilir hale getirmektedir. Örneğin aynı duvar paneli, farklı düzeydeki gürültü ve ışığı engelleyecek şekilde ayarlanabilmekte ve mekânın görünürlük ve akustik özellikleri, kullanıcıların işlevsel ve estetik ihtiyaçlarına göre ayarlanabilmektedir. Yardımcı malzemeler aynı zamanda bir binanın içi ve dışı arasında filtre olarak da kullanılabilir. Örneğin, iki katmanlı polimerlerden yapılmış bir gölgeleme sistemi, doğal ışığın taşıdığı ısıya tepki veren, düşük ışık seviyelerinde açılıp binaya daha fazla güneş ışığı girmesini sağlayan ve sıcaklık arttıkça kapanarak güneş ışığını koruyan hücresel bir sistem olarak tasarlanabilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2017b).

Kendiliğinden yapılanabilir mimari yapılar, afet yardımı için veya zorlu koşullara sahip ortamlara, minimum yer kaplayarak nakliye ile gönderilebilmekte ve daha sonra doğru çevre koşullarına maruz kaldığında önceden programlanmış yapılara kendiliğinden dönüşebilmektedir. Benzer şekilde ayakkabılar, giysiler ve diğer ürünler bir boyutlu yüzey katmanı şeklinde gönderilebilmekte, kişiye özel uyum için şekillendirilebilir ve koşu veya yürüyüş için uyarlanabilir kendi kendini optimize etme özelliği sergileyebilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2017b).

Yeni malzemelerin dinamik davranışı, kaçınılmaz olarak tasarımcının ürün ve yapı tasarlama şeklini değiştirmektedir. Nihai ürünün biçimini ve işlevini tasarlamak yerine, artık sistemin davranışını, dinamik büyümesini veya uyarlanmasını tasarlama fırsatı tanımaktadır. Üç boyutlu baskı, lazer kesim ve bilgisayarlı sayısal kontrol (CNC) veya robotik imalat gibi yeni imalat teknolojilerinin kul-



Şekil 5. Programlanabilir Malzeme (Campbell ve ark., 2014).

lanılması, bu tür malzeme yeniliklerini tasarımcılar için ulaşılabilir hale getirmiştir. Programlanabilir malzeme özetle enerji ve iş gücünden tasarruf sağlayarak farklı boyutlarda nesnelere üretebilmektedir (Şekil 5). Kendini masaya dönüştürebilen bir sandalye, kendini onarabilen tesisat boruları, uzay mimarisinde gerekli olan tüm imalat problemleri programlanabilir malzeme sayesinde çözüleceği öngörülmektedir.

Bunun yanında programlanabilir malzemenin yeni belirsizlikler ve çözümü öngörülemez problemler yaratacağı da tartışılmaktadır (Campbell ve ark., 2014). Programlanabilir malzemenin bir gün hem askeri hem de sivil bağlamda büyük ölçekli inşaatlarda da kullanılabilmesi tahmin edilmektedir. Yapı sektöründe binaların kendiliğinden tuğla veya beton dökmek yerine, bina büyüklüğünde programlanabilir malzemenin bir temelle döküldüğü ve ardından öğelere, elektrik ve su tesisatı ile tamamlanmış bitmiş bir yapı halinde büyümeleri ve sabitleşmeleri öngörülmektedir. Günümüzde doğrudan konut inşası için gereksiz ve henüz imkânsız olacağı eleştirisi yapılsa da örneğin bir savaş bölgesinde veya Mars yüzeyinde, alışılmadık dışında zorlukları olan fiziksel çevrelerde kendiliğinden yapılanmanın kolaylıklar sağlayacağı düşünülmektedir (Campbell ve ark., 2014).

#### 4. Kendiliğinden Yapılanma “Self Assembly” Özellikli Tasarımların Laboratuvar Çalışmaları ve Analizi

Günümüzde Fab Lab (Üretim Laboratuvarı) bilgisayar destekli tasarımdaki gelişmelerle birlikte literatüre ve günlük konuşma diline katılmaya başlamıştır (Bodur, 2017). Gershenfeld ile başlayan Fab Lab laboratuvarlarında farklı boyut ve işlevlerde üç boyutlu yazıcılar (FDM, SLA, SLS, DLP, MJT, inkjet, STL teknolojileri), mikrodenetleyici programlama, lazer kesim, CNC tezgâhları, kalıp döküm

araçları, elektronik dikiş makinesi, masaüstü CNC aracı ve dremel gibi el araçları da bulunmaktadır. MIT’de bulunan Self Assembly Lab’i Fab Lab kültüründen ayıran birçok farklılık bulunmaktadır. Self Assembly Lab’de sadece ürünlerin nasıl ve ne ile üretileceği değil, üretim süreci de tasarlanmaktadır. Kimyasal maddeler, elektronik çipler, kompozit malzemeler, sıvı kazanında hızlı prototipleme gibi alışılmadık yenilikçi yöntemlerle tasarım sürecinin sınırları genişletilmektedir (Şekil 6).

Literatürde sınırlı bilgi yer alması nedeniyle, projelerin üretim süreçlerinde ifade edilen cihazlar ve yöntemler üzerinden çıkarımlar yapılmıştır. Ek olarak laboratuvara ait iç mekân görselleri üzerinden de çıkarımlar yapıldığında, Rapid Liquid Printing olarak ifade edilen hızlı sıvı prototipleme olarak da çevirebilecek yeni bir baskı yönteminin yer aldığı görülmektedir. Büyük bir sıvı kabının (akvaryumunun) içerisinde her türlü malzemenin basılabildiği yazıcı nozulu yer almaktadır. Bununla birlikte robotik kol, dört boyutlu yazıcı, geleneksel üç boyutlu yazıcı, CNC tezgâh da bulunmaktadır. Self Assembly Lab’de 2024 yılına dek toplamda kırk iki proje üretilmiştir. Bu projeler gerçekleştirildiği tarihe bağlı olarak sırasıyla Tablo 1’de verilmektedir (Tablo 1).

Projelerin mimari tasarım, biyoteknoloji, elektronik, tekstil, metalurji ve malzeme mühendisliği, endüstriyel tasarım gibi farklı alanlarla ilişkili olduğu görülmektedir. Projelerin tamamı multidisipliner çalışmalar olduğu için sonuç ürünün ilişkili olduğu uzmanlık alanı belirtilmiştir. Projelerin ilgili olduğu alanlara göre sayısal dağılımına bakıldığında endüstriyel tasarım (8), tekstil mühendisliği (7), metalurji ve malzeme mühendisliği (2), elektronik (2), biyoteknoloji (1) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yirmi bir projenin mimari tasarım ile doğrudan ilişkili çalışmaları olduğu tespit edilmiştir. Mimari tasarım alanında yapılan çalışmaların on beş tanesi form/ strüktür, dört tanesi mobilya imalatı / konstrüksiyon



a. Self Assembly Lab İç Mekanı



b. Self Assembly Lab koordinatörü Skylar Tibbits’in prototiplerle yaptığı deney

Şekil 6. Self Assembly Lab İç Mekanı (URL-3, 2024)

yonu, ikisi yapı statifi ve yapı malzemesinin çekme dayanımı, biri iç mekân tekstili, biri sıvı baskı yöntemi ile ilgili inovasyon gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında bu projelere kısaca değinilmiştir.

Mantık Materyali / Maddesi (Logic Matter) adlı proje

ile kendiliğinden yapılarak montajın gerçekleşmesi hedeflenmiştir. Dijital mantık, matematik ve pasif mekanik sisteme dayanan bir yöntem kullanılmıştır (Tibbitts ve Cheung, 2012). Büyük ölçekli yapıların küçük parçalarla kendiliğinden birleşerek strüktür oluşturması için yeni bir sistem olarak önerilmektedir. Mantık biliminde

**Tablo 1.** Self Assembly Laboratuvarında Gerçekleştirilen Projeler ve İlgili Olduğu Alan

No.	PROJE ADI	İLGİLİ OLDUĞU DİSİPLİN	GETİRDİĞİ YENİLİKLER
1.	Logic Matter	Mimari Tasarım	Form / Strüktür
2.	Macrobot ve Decibot	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
3.	C-Strands	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
4.	DNA Printing	Biyoteknoloji	DNA profillemesi
5.	Self-Assembly Line	Endüstriyel Tasarım	Form / Strüktür
6.	Bio-Molecular Self Assembly	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
7.	Autonomous Self Assembly	Metalurji ve Malzeme Müh.	Moleküler Biyoloji
8.	Self-Folding Proteins	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
9.	Hyperform	Elektronik	Form / Strüktür
10.	Self-Assembly Cell Phone	Elektronik	İşlem Kartı
11.	Fluid Assembly Chair	Mimari Tasarım	Mobilya Konstrüksiyonu
12.	Aerial Assembly	Mimari Tasarım	Form / Strüktür
13.	Fluid Lattices	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
14.	Self-Replicating Spheres	Endüstriyel Tasarım	Form / Strüktür
15.	Fluid Crystalization	Metalurji ve Malzeme Müh.	Moleküler Birleşim
16.	4D Printing	Mimari Tasarım	Form / Strüktür
17.	Programmable Table	Mimari Tasarım	Mobilya Konstrüksiyonu
18.	Active Auxetics	Tekstil Tasarımı	Doku
19.	Transformable Screen Wall	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
20.	Transformable Meeting Spaces	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
21.	Programmable Materials	Endüstriyel Tasarım	Dört boyutlu baskı
22.	Rock Printing	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
23.	Modular and Morphable Jamming	Mimari Tasarım	Statik
24.	Slip-Form Rock Jamming	Mimari Tasarım	Statik
25.	Jamming Bodies	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
26.	Active Textile	Mimari Tasarım	İç Mekân Tekstili
27.	Liquid Printed Textile Shoes	Endüstriyel Tasarım	Form /Strüktür
28.	Active Shoes	Endüstriyel Tasarım	Form /Strüktür
29.	Liquid Printed Natives	Endüstriyel Tasarım	Sıvı baskı yöntemi
30.	Rapid Liquid Printing	Mimari Tasarım	Mobilya Konstrüksiyonu
31.	Liquid Printing Products	Endüstriyel Tasarım	Sıvı baskı yöntemi
32.	Liquid Printing Pneumatics	Mimari Tasarım	Form /Strüktür
33.	Liquid to Air Pneumatic Objects	Mimari Tasarım	Sıvı baskı yöntemi
34.	Active Patterned Scarves	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
35.	Active Textile Tailoring	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
36.	Climate Active Textiles	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
37.	Personalized Knit Masks	Endüstriyel Tasarım	Form /Strüktür
38.	Liquid Metal Printings	Mimari Tasarım	Mobilya Konstrüksiyonu
39.	Hapticnit	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
40.	3D Knit BioSuit	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
41.	4D Knit Suit	Tekstil mühendisliği	Aktif tekstil
42.	Growing Islands	Mimari Tasarım	Kentsel Tasarım

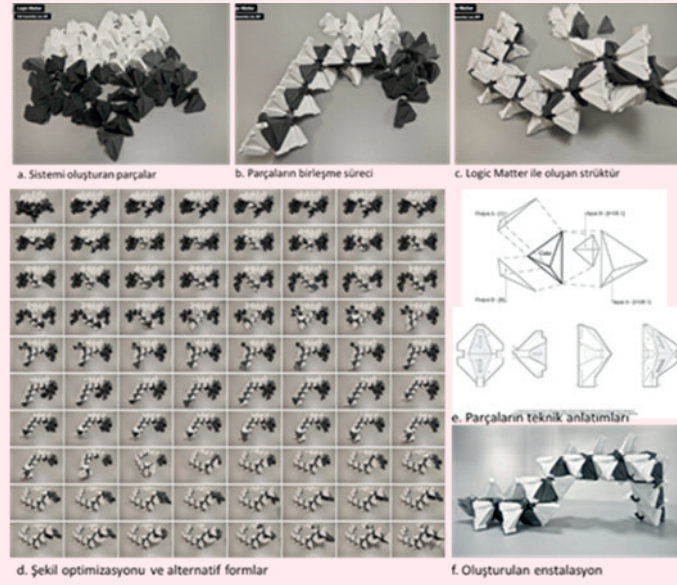
yer alan “Ve Değil” (Not and NAND kapısı) kapı devresi mantığına göre parçalar bir araya gelmekte ve strüktür oluşturmaktadır (Şekil 7).

Macrobot ve Decibot adlı proje ise tek bir katlama açısı dizisini alan ve isteğe bağlı olarak herhangi bir boyuta (1, 2 veya 3 boyut) göre şekil değiştirebilen, büyük ölçekli, yeniden yapılandırılabilir zincirlerden oluşan bir strüktür olarak betimlenmektedir. Strüktürü oluşturan her parçadaki robotik ünite talimatları okumakta, belirlenen konumdaki açığı almakta ve bir sensör istenen yerleşime ulaştığını gösterene kadar karşılık gelen açığa dönmektedir. Verilen komuta karşılık olarak hareket kodları zincir boyunca yerleştirilmiş sensörlere iletilmektedir. Protein sentezinde yer alan aminoasitlerin bağ ve mesaj taşıması sürecinden ilham alınarak geliştirilen bu proje, strüktürün yeniden kendiliğinden yapılanmasını sağlamaktadır (Şekil 8).

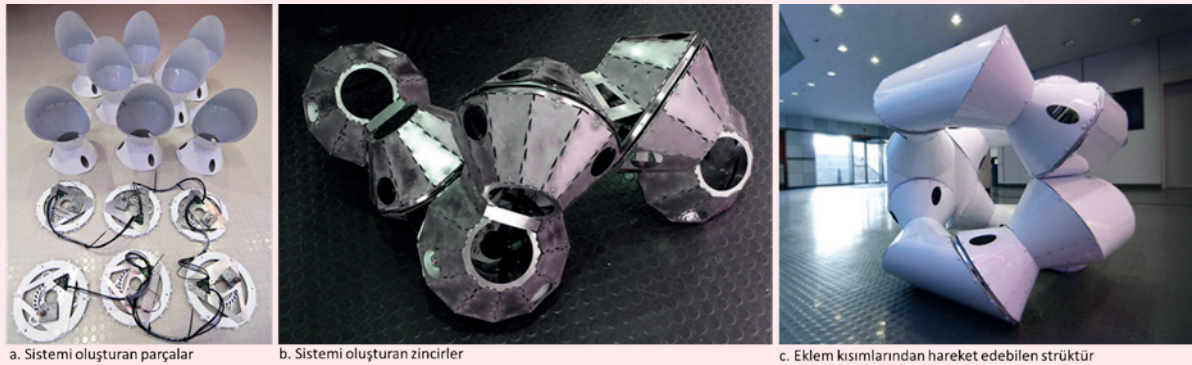
Protein C İplikçığı (C- Strands) ise Cambridge Belediye Binası giriş holünde sergilenen yeniden yapılandırılabilir, etkileşimli ve değiştirilebilir bir strüktürdür. Mekân kullancısına oyun ortamı tanımlayarak strüktürü yeniden

şekillendirebilme olanağı sunmaktadır. Her bir parça, eksenleri boyunca sabitlenen ve daha sonra esneklik ve sağlamlık için birbirine bağlanan boş plastik bazlı malzemeden yapılmıştır. C-Strands, birçok farklı geometrik varyasyon seçeneği sunmaktadır. Bununla birlikte projenin, mekânda heykelsi bir strüktür oluşturmak için yeniden yapılandırma, protein iplikçikleri ve programlanabilir malzemeler üzerine yapılan araştırmalardan yararlandığı belirtilmektedir (Şekil 9).

Biyomoleküler Kendiliğinden Yapılanma (Bio-Molecular Self Assembly), 2012 yılında TED Küresel Konferansı için tamamlanan proje, Scripps Araştırma Enstitüsü'nde çalışan moleküler biyolog Arthur Olson ile iş birliği içinde yürütülmüştür. Bu proje, somut ve fiziksel modeller aracılığıyla moleküler arası kendiliğinden yapılanmayı göstermektedir. Oluşan geometriler tütün bitkisi virüsü, ferritin protein topluluğu ve katekol dioksijenaz enzimi dahil olmak üzere çeşitli moleküler yapıya dayanmaktadır. Her bir kap, beyaz, kırmızı veya siyah renkte tek bir moleküler yapı içermektedir. Molekül olarak adlandırılan parçacıkların birleşmesi veya tam tersi başlangıçtaki

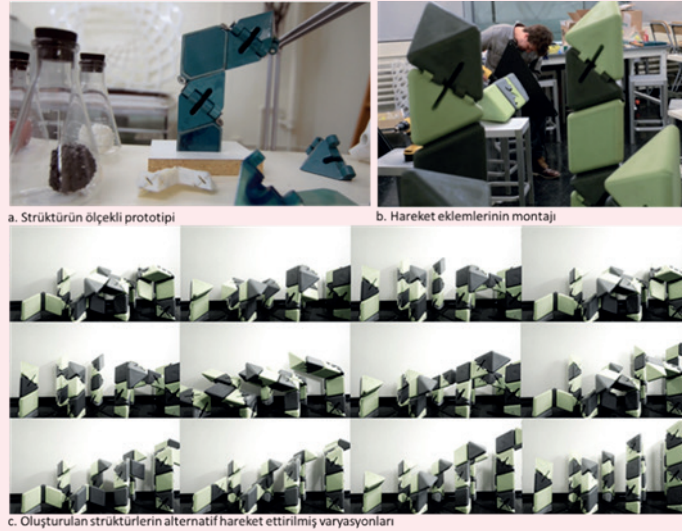


Şekil 7. Logic Matter Projesi (a. Sistemi oluşturan parçalar, b. Parçaların birleşme süreci, c. Logic Matter ile oluşan strüktür, d.Şekil optimizasyonu ve alternatif formlar, e.Parçaların teknik anlatımları, f. Oluşturulan strüktür ile gerçekleştirilen enstalasyon çalışması) (URL-4, 2023)



Şekil 8. Macrobot ve Decibot ile oluşturulan kinetik strüktür (URL-5, 2023)





Şekil 9. C Strands strüktürü (a. Strüktürün ölçekli prototipi, b. Hareket eklemlerinin montajı, c. Oluşturulan strüktürlerin alternatif kompozisyonları) (URL-6, 2023)



Şekil 10. Bio-Molecular Self Assembly (a.molekül olarak adlandırılan parçaların kap içerisinde hareket ettirilerek kendiliğinden yapılanması b. Sergi alanında kendiliğinden yapılanmış molekül parçacıkları ve kullanıcı deneyimleri (URL-7, 2024)

ayrışmış haline dönmesi için kabın gerekli enerjiyi sağlayacak kadar hareket ettirilmesi (çalkalanması) gerekmektedir (Şekil 10).

Kendiliğinden Katlanan Proteinler (Self-Folding Proteins), havaya rastgele atıldığında istenen proteinin üç boyutlu yapısına kendiliğinden dönüşen, katlama açılarını şekil hafızası özelliği ile taklit edebilen üç boyutlu elastik çitalardır. Şekil 11’de de görülen biçimde Crambin Proteini formunu almıştır. Bu teknoloji, daha büyük protein şeritlerine ve diğer birinci boyuttan üç boyuta, kendi kendine birleşen sistemlere dönüşebileceği, farklı ölçekli strüktürlerde kullanılabilmesi öngörülmektedir (Şekil 11).

Sıvı içerisinde kendiliğinden yapılanan sandalye (Fluid-Assembly Chair) ise zorlayıcı fiziksel çevre koşullarında, karmaşık ve kontrolsüz ortamlarda (su, hava, uzay vb.) otonom montaj yöntemlerinin uygulanabilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu deneyde parçalar türbülans mekanizmasının bulunduğu su tankına salınmaktadır (Şekil



Şekil 11. Self Folding Protein Projesi (a.Protein zincirini temsil eden formun başlangıç hali ve kendiliğinden yapılanma aşamaları) (URL-8, 2023)

12). Bileşenlerin her biri birbirinden tamamen benzersiz olsa da nihai formun birer parçası olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu deney, mobilyalardan elektronik cihazlara veya yapısal elemanlardan yapılara kadar karmaşık, farklılaşmış tasarım ürünlerine kendiliğinden yapılanma özelliği kazandırılabilceğini göstermektedir. Kendi kendine monte edildikten sonra sistemin parçaları çıkarılabilir, test edilebilir veya tekrar kullanılabilir.

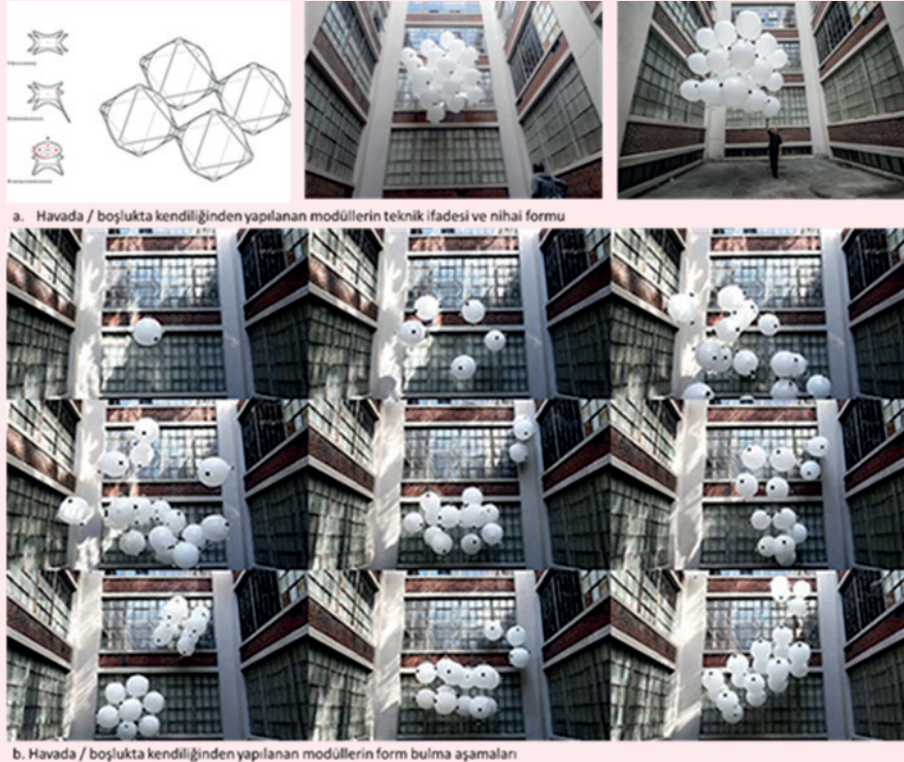
Boşlukta Kendiliğinden Yapılanma (Aerial Assembly) pnömotik parçalardan oluşan, bir yapının avlusunda deneysel bir çalışma olarak uygulanan form araştırmasıdır (Papadopoulou ve ark., 2017b). Her bir küre şeklindeki

pnömotik parça yukarı doğru atılmakta ve birbirlerine temas ettikçe birleşerek farklı geometrik formlar kazanmaktadır (Şekil 13).

Sıvı kafesler (Fluid Lattices) projesi sıvı içerisinde kendiliğinden yapılanan sandalye (Fluid Assembly Chair) projesi ile benzerlik göstermektedir (URL-11, 2024). Bu projede de zorlayıcı fiziksel koşullarda kendiliğinden yapılanabilen, monte edilebilen strüktür ve formların oluşturulmasını araştırmaktadır. Su tankı içerisinde sistemi oluşturan küçük parçalar rastgele bırakılmaktadır ve parçalar su içerisinde programlandığı gibi temas ettikçe birbirine monte edilerek yapılanmaktadır (Şekil 14).



Şekil 12. Fluid-Assembly Chair kendiliğinden yapılanma aşamaları (URL-9, 2023)



Şekil 13. Aerial Assembly Projesi (a. Havada kendiliğinden yapılanan form, b. formun oluşma aşamaları) (URL-10, 2024)



a. Su tankı içerisinde kendiliğinden yapılanan strüktürün oluşum aşamaları

Şekil 14. Fluid Lattices (a.Su tankı içerisinde kendiliğinden yapılanan strüktürün oluşum aşamaları)(URL-11, 2024)

Dört Boyutlu Baskı (4D Printing) ise akıllı malzemelerin basılmasına yönelik inovatif bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Dört boyutlu baskı, bir durumdan diğerine şekil dönüştürme özelliği eklenmiş olarak çok malzemeli baskılar yapılmasını sağlamaktadır (Tibbits, 2014). Bir ürün veya mekanizma herhangi bir tek boyutlu yüzeyden üç boyutlu forma, iki boyutlu biçimden üç boyutlu forma dönüştürülebilir veya bir üç boyutlu formdan şekle veya yüzeye dönüşebilir (Grassi ve ark., 2022). Yalnızca su, ısı, ışık veya diğer basit enerji girdilerini kullanan bu teknik, her boyuttaki yapı ve sistemler için uyarlanabilmektedir (Şekil 15).

Programlanabilir Sehpa/ Masa (Programmable Table) projesi mobilya sektöründe devrim yaratacak kadar etkili, yeni bir mobilya türü olarak ifade edilmektedir. Programlanabilir masa / sehpa, sevkiyattan sonra aktif olarak

kendi kendine yapılanan tamamen yeni bir mobilya olarak ifade edilmektedir. Nakliye, depolama ve farklı işlevdeki kullanımlar gibi çeşitli durumlara kolayca uyum ve kolaylık sağlamaktadır (Şekil 16). Hassas ve öngörülebilir şekillerde kendi kendini dönüştürmek için çip gömülü öngerilmeli kumaştan yararlanılmaktadır. Bu mobilyalar yerine yerleştirildikten sonra başka şekillerde yeniden yapılandırılabilir veya depolama ve taşıma için yeniden düzleştirilebilmektedir. Sevkiyat sırasında hacmi en aza indiren programlanabilir ürün, dağıtım için son derece verimli ve ekonomik olmaktadır. Ayrıca bu ürün, karmaşık parçaların insan veya makine tarafından montajı ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve basit bir şekilde paketten çıkarılarak hızlı bir şekilde yapılanmasına olanak tanımaktadır.

Dönüştürülebilir Ekran Duvar (Transformable Screen Wall) projesi ofis yapıları özelinde tasarlanırsa da herhangi bir iç mekânda özelleştirilmiş alanların tasarlanmasını ve mekâna esneklik kazandırılmasını amaçlamaktadır. Projenin açık ofis iç mekanları ve sabit / kapalı ofis iç mekanlarının her ikisi için de çeşitli kolaylıklar sunduğu belirtilmektedir. Açık ofis planlarının gürültü ve mahremiyet sorunları nedeniyle üretkenliği azalttığı ancak esneklik ve iş birliği fırsatları sağladığı bilinmektedir. Standart sabit / kapalı ofisler ise mahremiyet ve sessiz ortamlar sunar ancak mevcut çalışma alanı türünü kısıtlamakta ve daha fazla metrekare kaplamaktadır. Bu proje ile ofis yapılarına özel telefon kulübeleri, dinlenme alanları veya diğer sessiz toplantı alanlarına kolayca açık esnek alanlara dönüşebileceği bir alternatif önerilmektedir. Dönüştürülebilir duvarların kullanılmasıyla bu alanlar, tek bir toplantı odası veya üç farklı alan oluşturacak şekilde genişleyip daralabilmekte veya aşağıda net ve açık bir alan bırakarak tavana dönüşebilmektedir (Şekil 17).

Dönüştürülebilir Toplantı Alanları (Transformable Meeting Spaces) projesi hafif, yumuşak ve sorunsuz bir şekilde dönüşebilen alternatif bir yaklaşımı araştırmaktadır. Dönüştürülebilir yapılar genellikle hareket yaratmak için pahalı ve karmaşık elektromekanik sistemler gerektirmektedir. Çeşitli uygulamalara yönelik prototipler üretilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Dönüştürülebilir Toplantı Alanları ile yapı iç mekanlarının kullanıcı ihti-



Şekil 15. Dört boyutlu baskı (a. kendiliğinden yapılanan küp, b. Kendiliğinden yapılanan sekizyüzlü, c. Kendiliğinden yapılanan disk) (URL-12, 2024)

yacına göre yeniden tasarlanması ve esneklik kazandırılması amaçlanmaktadır. Dokuma kumaşa entegre edilmiş programlanabilir malzeme kullanılarak toplantı alanları genişletilip daraltılabilir, 6-8 kişinin kullanacağı bir toplantı odası oluşturulabilmekte veya tavana dönüştürülerek altında net ve açık bir alan bırakılabilmektedir (Şekil 18).

Taş Baskı Tekniği (Rock Printing) projesinde yenilikçi ro-

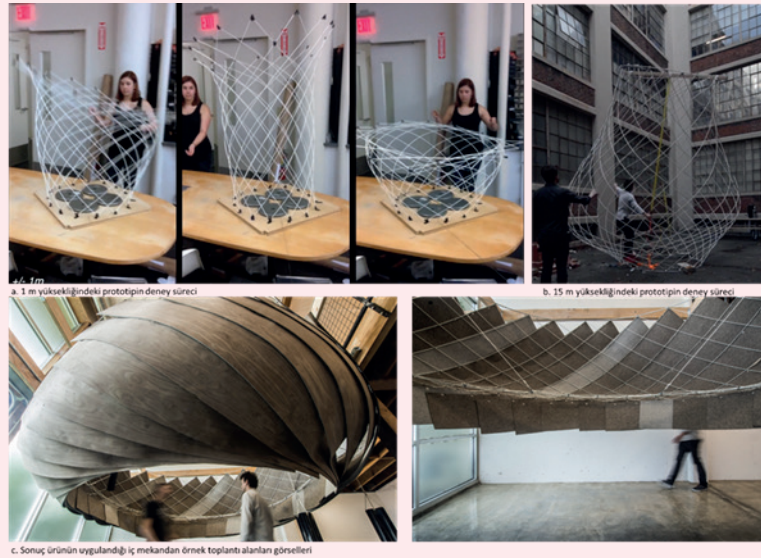
bot teknolojisini kullanılarak Chicago Mimarlık Bienali 2015'in açılışında üç boyutlu baskılı bir kaya enstalasyonu oluşturulmuştur. Özel olarak oluşturulmuş bir algoritma, üç boyutlu bir kaya baskısı sürecinde robotik kolu yönlendirmiştir (Aejmelaeus-Lindström ve ark., 2017). Robotik kol granüler malzemenin çevresinde algoritma-ya özgü bir şekil ile tekstil filamentini katmanlayarak konumlandırmıştır. Bu dijital olarak hazırlanmış tassa-



Şekil 16. Programlanabilir Sehpanın Milano'daki 2015 Mobilya Fuarında tanıtılan prototipi (a. Sehpanın iki boyutlu katlanır haldeki durumu, b. Sehpanın üç boyut kazandırılmış formu, c. Alternatif bir diğer formu) (URL-13, 2024).



Şekil 17. Transformable Screen Wall projesi prototipi kullanım senaryosu (URL-14, 2024)



Şekil 18. Transformable Meeting Spaces Projesi (a.1m yüksekliğindeki prototip deney aşamaları, b. 15 m yüksekliğindeki prototipin deney süreci, c. Sonuç ürünün uygulandığı toplantı alanının iç mekânının ve dış kabuğunun görselleri) (URL-15, 2024)

rım konfigürasyonunun kendi kendini taşıma kapasitesi bulunmaktadır. Hiçbir ek destek elemanı gerektirmeden yığma olarak kendi taşıyıcılığını sağlamaktadır. Geleneksel mimariye temelden meydan okuyan sürdürülebilir, ekonomik ve yapısal olarak sağlam bir inşaat yöntemi sunulmaktadır (Şekil 19).

Modüler ve Dönüştürülebilir Karıştırma /Sağlamlaştırma (Modular and Morphable Jamming) düşey yüklere dayanmanın yanı sıra ayarlanabilen ve değiştirilebilen yatay açıklıklar elde etmek için yeni bir uygulama yöntemi sunmaktadır. Yapı malzemesi olarak çalışmada tercih edilen granül blokajlar sıkıştırılabilmekte, elde edilen formda sonrasında tekrar sıkıştırılabilmektedir (Cohen ve ark., 2020). Hem uygulama esnasında hem de kullanım esnasında sıkıştırma yapılabilmektedir. Projenin

temel amacı gerektiğinde ayarlanabilen veya değiştirilebilen hızlı ve geri dönüşümlü taşıyıcı görevi olan yapısal elemanlar üretmektir. Bu yönetime yönelik deneyler kolon-kiriş, duvar-döşeme ve kiriş-kemer gibi mimari tipolojilerin tam ölçekli prototipleri aracılığıyla gösterilmektedir (Şekil 20).

Taş sıkıştırma (Slip-Form Rock Jamming) granül /blokaj sıkıştırma tekniğini kullanarak düşük maliyetli ve basit bir inşaat yöntemi üretmeye yönelik yeni bir tekniktir. Zig-zag formunda taşıyıcı bir perde duvar oluşturmak için kayan kalıpla birlikte yapı malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu ve gevşek çakıldan oluşturulan kompozit bir malzeme kullanılmaktadır (Şekil 21).

Jamming Bodies projesi hava basıncı ile çalışabilen (pnö-



Şekil 19. Rock Printing Projesi (a. Robotik kol desteği ile programlanmış tekstil iplikleri kullanarak taşlar arasında baskı süreci, b. Sergilenen enstasyon çalışmasının görselleri, c. Nakliye ve kurulum süreci) (URL-16, 2024)

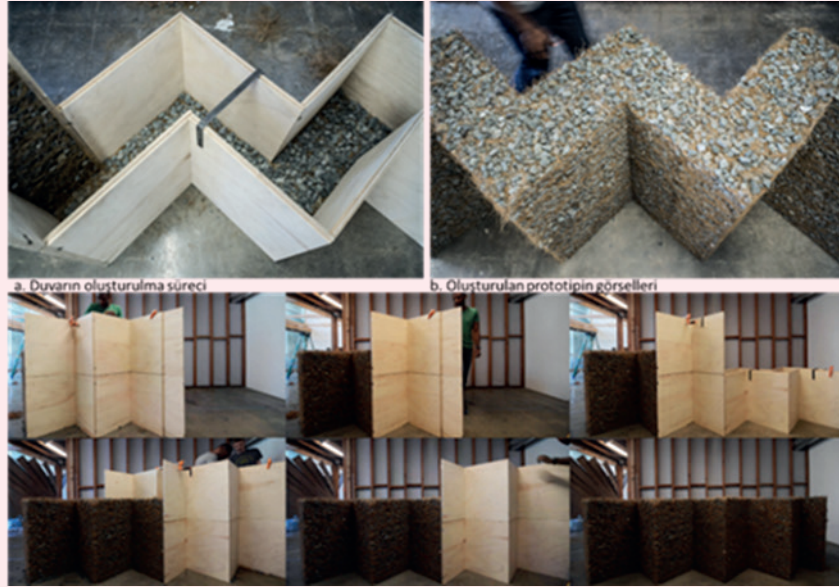


Şekil 20. Modular and Morphable Jamming Projesi (URL-17, 2024)

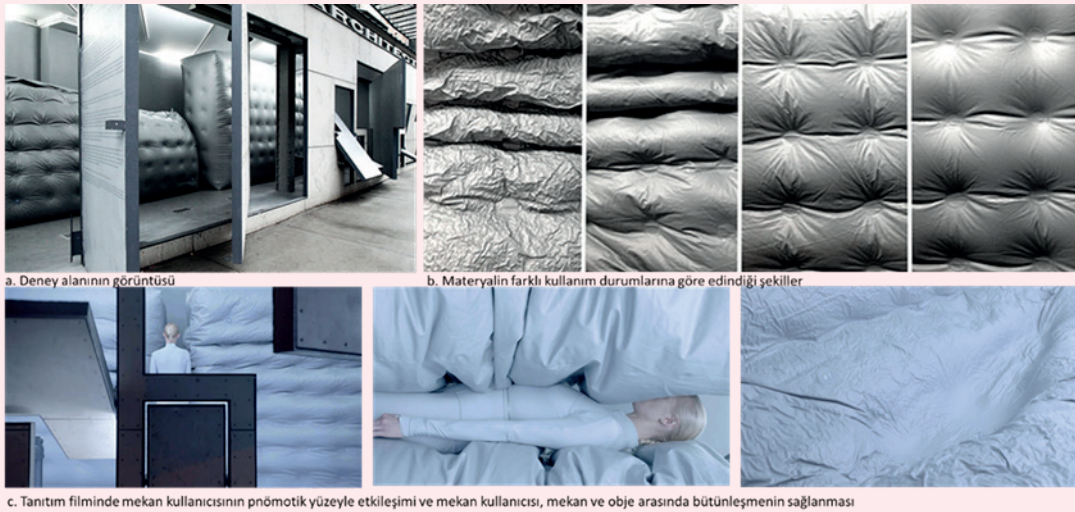
matik) malzemelerin, sağlık ve spor mekanlarındaki potansiyel uygulamalarını sorgulamaktadır. Granüler Sıkışma olarak çevrilebilecek bu yöntem düzensiz malzemelerin sıvı, katı ve yarı katı haller arasında tersine çevrilebilir şekilde geçiş yapabileceği bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Tasarlanan ürün vücudun hissi, davranışı ve fizyolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için iki ay süre ile deneme laboratuvarına dönüştürülmüştür. Bu deney mekânında sertlik veya sıkıştırma kullanıcı tarafından ayarlanabilmektedir. Bu çalışmanın özellikle spor gibi fizyolojik aktiviteler için veya rehabilitasyon gibi sağlık işlevleri için kullanılabilmesi düşünülmektedir. Mekânın formu ve hacmi, ölçeği değiştirilebilmekte ve kullanıcının vücudu ile yeniden şekillenebilmektedir. Mekân kullanıcılarına göre şekil alan mekân kavramının oluşturulduğu görülmektedir (Şekil 22).

Aktif Kumaş (Active Textile) projesinde kompozit bir kumaş üzerinde oluşturulan açıklıklar, ışık kaynağına tepki olarak açılıp kapanabilme özelliği göstermektedir. Robotik mekanizmalar olmadan çevrelerini “algılayabilen” ve çevrelerine tepki verebilen programlanabilir malzemeler kullanılmaktadır. Bir pencere üzerinde perde görevi gören tekstil malzemesinin delikleri, parlak güneş ışığına tepki olarak kapanmakta ve gerekli gölgelemeyi sağlamaktadır veya bulutlu bir günde açılacak şekilde programlanmaktadır (Şekil 23).

Hızlı Sıvı Baskı Prototipleme Tekniği (Rapid Liquid Printing) projesi yenilikçi bir üç boyutlu baskı teknolojisidir. Hızlı Sıvı Baskı, jel süspansiyonu içindeki üç boyutlu alanı fiziksel olarak çizmekte ve istenilen malzemedan yapılabilen büyük ölçekli, özelleştirilmiş ürünlerin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Diğer tekniklerle kar-



Şekil 21. Slip-Form Rock Jamming Projesi ( a.Duvarın oluşturulma süreci, b. Oluşturulan prototipin görselleri) (URL-18, 2024)



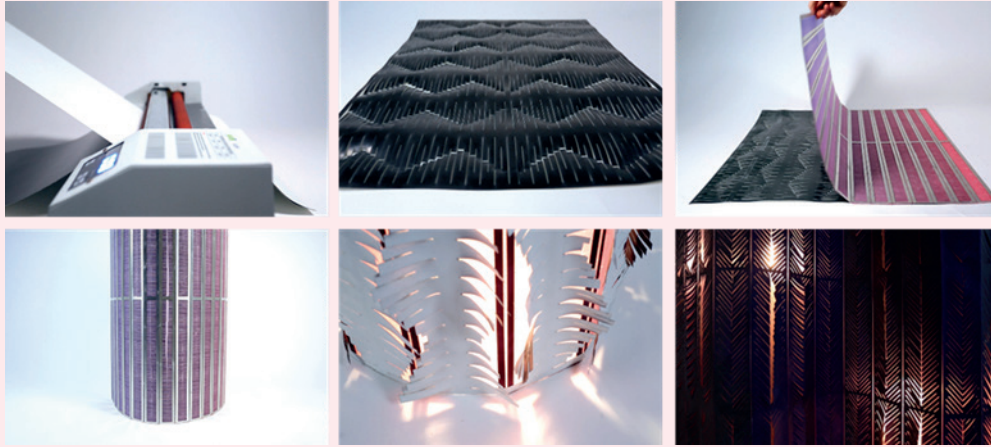
Şekil 22. Jamming Bodies Projesi (a. Deney alanının görüntüsü b. Materyalin farklı kullanım durumlarında edindiği şekiller c.Tanıtım filminde mekân kullanıcısının pnömatik yüzeye etkileşimi ve mekân kullanıcısı, mekân ve obje arasında bütünleşmenin sağlanması) (URL-19, 2024)

şılaştırıldığında bunun, büyük ölçekli ürünler elde etmek için endüstriyel malzemelerin son derece hızlı ve hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlamaktadır. Günümüzde kullanılan üç boyutlu yazıcıların enjeksiyon kalıplama, döküm, frezeleme vb. gibi geleneksel işlemlerle karşılaştırıldığında çok yavaş olması, ürünün ölçeği açısından sınırlayıcı olması ve genellikle endüstriyel malzemelerle karşılaştırıldığında kullanılan filamentlerin düşük kaliteli olması nedeniyle üretimde yaygın kullanılmadığı düşünülmektedir. Hızlı Sıvı Baskı üç boyutlu yazıcı üretim sürecindeki eksikliklerini de çözmektedir. Üç boyutlu yazıcılara oranla birkaç dakika içinde yapılar üretebilecek kadar hızlı ve büyük ölçekli ürünler için tasarlanmıştır (bir mobilyanın tamamı basılabilmektedir) ve sektörde kullanılan tüm endüstriyel A sınıf malzemeler kullanılabilmektedir (Şekil 24).

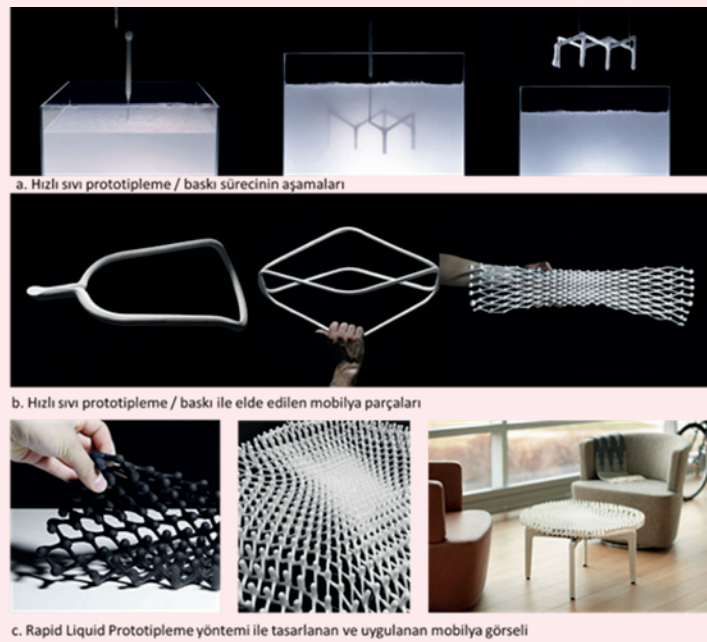
Sıvı Baskılı Pnömatik Özellikli Ürünler (Liquid Printed

Pneumatics) projesi uyarlanabilir, her koşula uyum sağlayan iç mekanlar üzerinde durmaktadır. Kendiliğinden yapılanan, dönüşen ve uyum sağlayan pnömatik malzeme teknolojileri geliştirilmiştir. Herhangi bir boyuta veya şekle göre özelleştirilebilen, Rapid Liquid Printing ile basılan pnömatik ürün, sistemdeki hava basıncı miktarına bağlı olarak şekil değiştirebilmektedir (Şekil 25).

Sıvıdan Gaza: Pnömatik Nesnelere (Liquid to Air: Pneumatic Objects) projesi İsviçreli tasarımcı Christophe Guberan'ın üç boyutlu baskılı şişirilebilir eserlerinin New York'taki Patrick Parrish Galerisi'nde sergilenmesi ile gerçekleşmiştir. Self-Assembly laboratuvarı, geliştirdikleri yeni bir süreç olan Hızlı Sıvı Baskı'yı kullanarak karmaşık şekillere, iç bölmelere, karmaşık yüzeylere ve büyük, özelleştirilmiş, dinamik ürünler üretmeye yeni bir yöntem getirmiştir. Bu baskı işlemi, vazodan kanepeye kadar büyük ölçekli nesnelere birkaç dakika içinde üre-



Şekil 23. Active Textile (URL-20, 2024)



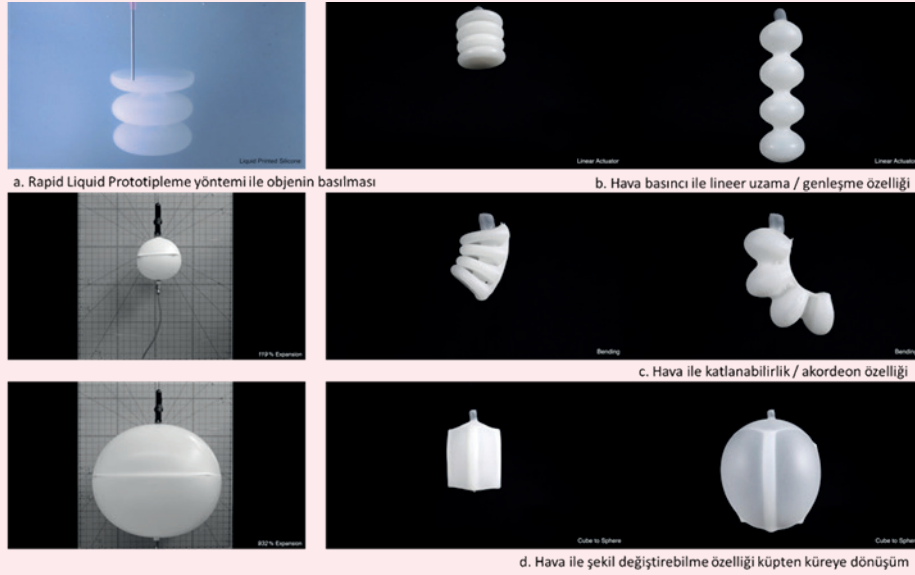
Şekil 24. Rapid Liquid Printing Projesi (a. hızlı sıvı baskı sürecinin aşamaları b. RLP ile elde edilen mobilya parçaları c. RLP yöntemi ile uygulanan mobilya tasarımı) (URL-21, 2024)

timini mümkün kılmaktadır (Şekil 26). Sergide birçok iç mekân dekorasyon ürünleri ve aydınlatma armatürleri yer almaktadır.

Sıvı Metal Baskı (Liquid Metal Printing) İlk kez Philadelphia Sanat Müzesi'ndeki bir sanat sergisinde uygulanmıştır. Metalin sıvı olarak basıldığı, geri dönüştürülebilir her türlü ölçekteki metal nesnelere saniyeler içinde üretebilen baskı işlemi olarak tanımlanmaktadır. Büyük ölçekli metal nesnelere hızlı bir şekilde basarak, bugün üretim için ölçeklenebilirlik ve fizibilite açısından sınırlı olan metal üç boyutlu baskıyı mümkün kılmaktadır. Metal, her gün çevremizde üretilen ürünlerin ve bileşenlerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Daha hızlı, daha ucuz ve daha kişiselleştirilebilir baskı yapabilmesi sayesinde gelecekte hem tasarım hem de üretim süreçle-

rini değiştirebileceği düşünülmektedir (Şekil 27).

Mimari tasarımla ilişkili toplamda yirmi bir projenin getirdiği inovasyonlara değinilmiştir. Bu projelerin bir kısmı doğrudan yapı teknolojisi ve malzemesi, bir kısmı form ve strüktür araştırmaları, yeni baskı teknolojileri imkânı sunmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde de belirtilen Skylar Tibbitts'in belirlediği kendiliğinden yapılanma özelliği gösteren ürünlerin yedi farklı ölçütü sağlaması gerekmektedir. Analizlerde kullanılan bu 7 parametre sırasıyla: sistemin tüm parçalarının geometrik olarak basit özellik göstermesi, sistemin en az iki farklı duruma sahip olması, sistemin istenilen talimat dizisine yanıt vermesi, basit bir montaj sırası / dizisine sahip olması, parçaları programlanabilir özellik göstermesi, aktif edilmesi için bir başlangıç kuvvetine (F0) veya enerjiye



Şekil 25. Liquid Printed Pneumatics (a.RLP yöntemi ile objenin basılması b. Hava basıncı ile tek yönde uzama/ genişleme özelliği c. Hava basıncı ile katlanabilirlik / açılabilirlik özelliği c. Hava ile şekil değiştirebilme özelliği küpten küreye dönüşüm (URL-22, 2024)



Şekil 26. Liquid to Air: Pneumatic Objects (a.RLP yöntemi ile objenin basılması b. RLP yöntemi ile elde edilen pnömatik objelerin kullanım senaryoları c.Üretilen ürünlerin sergilenmesi) (URL-23, 2024)



ihtiyaç duyması, yedeklenebilir ekipmana sahip olması şeklinde ifade edilmektedir (Tibbits, 2010). Örnekleme oluşturan 21 proje bu parametreler üzerinden analiz edilmiştir. İlgili parametreleri karşılama durumları frekans (sıklık) analizi ile sayısal verilere dönüştürülmüştür (Tablo 2).

Bu ölçütleri sağlama durumları sorgulandığında; projelerin %90 oranında "basit bir montaj sırası/ dizgesine sahip olma" koşulunu sağladığı görülmüştür. En az sağlanan ölçüt ise %66 oranında "sistemin istenilen talimat dizisine yanıt vermesi" koşulu olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni incelenen projelerin tamamında mantık bilimine dayalı elektronik devrelerin veya robotik sistemlerin kullanılmamış olmasıdır. Bununla birlikte "parçaların programlanabilir özellik göstermesi" ve "sistemin aktif olması için bir başlangıç kuvvetine /enerjiye ihtiyaç duyması" koşulları %85,7 oranında incelenen projelerde görülmüştür. "kolayca yedeklenebilir ekipmana sahip olma" koşulu ise %80,9 oranında projelerde rastlanmıştır. "sistemin tüm parçalarının geometrik olarak basit özellik göstermesi" %76,2 oranında ve "sistemin en az farklı duruma sahip olması" koşulu ise %80,9 oranında sağlanmıştır. Logic Matter (1), Macrobot ve Decibot (2), Fluid-Assembly Chair (6), Fluid Lattices (8), Jamming Bodies (16), Liquid Printed Pneumatics (19) projelerinin yedi ölçütün tamamını sağladığı görülmektedir (Tablo 2).

## 5. İç Mekânda "Self Assembly" Özellikli Tasarımların Kullanım Olanakları

Kendiliğinden yapılanma özellikli tasarımların laboratuvar çalışmaları üzerinde incelenmesi sonucu mimari tasarımla ilişkili yirmi bir farklı proje üzerinde durulmuştur. Bazı projelerin doğrudan iç mekân özelindeki problemlere çözüm veya yenilik getirmedeği görülse de iç mekânda kullanılabilirlik potansiyeli yüksek oldu-

ğu düşünülmektedir. Her yenilik ölçek fark etmeksizin mekânı etkilemekte ve dönüştürmektedir. Çalışmalar ağırlıklı olarak Mars, Ay vb. zorlayıcı ve aşırı fiziksel koşullar için belirlenen problemlere, gerekliliklere cevap ve çözüm aramaktadır. Fiziksel çevre koşullarına tepki veren, uyum gösteren, form, biçim, strüktür ve malzeme özelliklerini duruma göre değiştirebilen sistemler araştırılmaktadır. Kendiliğinden yapılanmanın sağlanması için mekân veya mekânda bulunan, yapısal ve yapısal olmayan elemanların her biri birer sistem gibi değerlendirilmekte, bu sistemleri oluşturan her parça da yeni bir sistem gibi tasarlanmaktadır. Kendiliğinden yapılanma yapıların, yapı elemanlarının veya çeşitli iç mekân unsurlarının kendi kendine düzenlenmesini veya bir araya gelmesini ifade etmektedir. Bu nedenle tabloda yapısal / yapısal olmayan eleman ve teknolojik yenilik başlıkları altında projeler sınıflandırılmıştır. Yöntem olarak ise genellikle modüler sistemler veya akıllı malzemeler kullanılarak sağlandığı görülürken, taşıyıcı özelliği olup olmadığı, kullanım işlevine (strüktürel olma, form tasarımı vb.) değinilmiştir.

Örnekleme oluşturan yirmi bir projenin iç mekânda kullanılabilirliği "yapısal eleman", "yapısal olmayan eleman", "endüstriyel tasarım ürünü / teknolojik yenilik" olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir. Geliştirilen yöntem yapı teknolojisi ile ilişkili ise yapısal olma durumuna bakılmıştır. Taşıyıcı özelliği olan mukavemeti artırılmış bir akıllı kompozit malzeme oluşturulmuşsa bu özelliğin iç mekânda yapısal elemanlara yenilik kazandıracığı belirtilmiştir. Eğer taşıyıcı değilse, mekânda özelleştirilmiş alanlar sağlayan bölücü panel ve duvarlar ise yapısal olmayan eleman başlığı altında değerlendirilmiştir. Bununla birlikte dört boyutlu yazıcı, hızlı sıvı prototipleme gibi yenilikçi teknolojiler kullanılmışsa teknolojik kullanım başlığı altında belirtilmiştir. Bu teknolojilerle üretilen mobilyalar, dekoratif aksesuarlar, aydınlatma armatürleri endüstriyel tasarım ürünü olarak üçüncü başlık



**Şekil 27.** Liquid Metal Printing (a.Metal baskı, kaynak ve sinterleme süreci b. Metal baskı süreci c. Metal baskı ile üretilen strüktür ve çeşitli mobilya tasarımları) (URL-24, 2024)

altında ele alınmıştır (Tablo 3).

Tablo 3'ten de anlaşılacağı üzere “kendiliğinden yapılanma” kavramı iç mekânda yapısal ve yapısal olmayan elemanların tümünde yenilikçi özellikler getirmektedir. Yapısal elemanların zorlayıcı fiziksel koşullara göre uyum göstermesi, akıllı liflerle kompozit malzemelerin oluşturulması ile mukavemeti artırılmış yapı malzemelerinin elde edilmesi gibi olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Yapısal olmayan her türlü geçici ve kalıcı strüktür, form, biçim, yüzey elemanlarında da hem işlevsel hem estetik yenilikler getirmektedir. Ofis mekânında hem akustik görevi gören hem de tavan düzlemine ve bölücü yüzeylere dönüşebilen akıllı tekstillerin kullanıldığı proje gibi

örneklerde görülmektedir. Endüstriyel tasarım ürünlerine getirdiği yenilikler ise, kullanıcı ile dönüşüm gösterebilmesi, sürdürülebilir olması, kolayca kaldırılabilmesi ve kurulabilmesi, kolay ve hızlı üretilebilmesi olarak sıralanabilir. Teknolojik yeniliklere bakılacak olursa ilk olarak akıllı malzemelerin kullanılması ile şekil hafızası olan ürünlerin elde edilmesi örneği verilebilir. Dört boyutlu ve sıvı prototipleme yöntemi hızlı, masrafsız, kolay ve farklı ölçeklerde ürün üretilmesine olanak tanımaktadır. Işığa, sese, basınca karşı tepki veren uyum sağlayan ürünlerin elde edilmesi, elektronik mikro çiplerle kendi kendine şekil değiştirebilen robotik mobilyaların oluşturulması gibi sonuç ürünler olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** İncelenen projelerin kendiliğinden yapılanma ölçütlerini sağlama durumları

KENDİLİĞİNDEN YAPILANMA ÖLÇÜTLERİ							
Proje Sırası	Sistemin tüm parçaları geometrik olarak basit özellik göstermektedir.	Sistem en az iki farklı duruma sahiptir.	Sistemin istenilen talimat dizisine yanıt vermektedir.	Basit bir montaj sırası / dizgesine sahiptir.	Parçaları programlanabilir özellik göstermektedir.	Aktif edilmesi için bir başlangıç kuvvetine (F0) veya enerjiye ihtiyaç duymaktadır.	Yedeklenebilir Ekipmana sahiptir.
1.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
4.	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
5.	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
6.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7.	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓
8.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9.	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
10.	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
11.	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12.	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
13.	-	✓	-	-	✓	✓	✓
14.	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15.	✓	-	-	✓	✓	-	✓
16.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17.	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
18.	✓	-	✓	✓	✓	-	✓
19.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20.	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
21.	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
f	16	17	14	19	18	18	17
%	76,2	80,9	66,6	90,5	85,7	85,7	80,9

## 6. Sonuçlar

İç mekânda kullanılan akıllı malzemeler ve yenilikçi teknolojiler hem işlevsel hem de estetik açıdan önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımların, üretim ve uygulama teknikleri tespit edilmiştir. Kendiliğinden yapılanabilir özellikli tasarımların mimarlık, mühendislik gibi birçok alana yenilikler getirdiği görülmektedir. Çalışmaların ağırlıklı olarak zorlayıcı fiziksel çevre koşulları için belirlenen problemlere, gerekliliklere cevap ve çözüm aradığı anlaşılmaktadır. Fiziksel çevre koşullarına tepki veren, uyum gösteren, form, biçim, strüktür ve malzeme özelliklerini duruma göre değiştirebilen sistemlerin araştırıldığı görülmektedir.

Kendiliğinden yapılanma kavramı mimari tasarımda ele

alındığında, mekân veya mekânda bulunan, yapısal ve yapısal olmayan elemanların her biri birer sistem gibi değerlendirilmekte, bu sistemleri oluşturan her parça da yeni bir sistem gibi tasarlanmaktadır. Örneğin şekil hafızası olan yüzeylerin de kullanıcının vücudu ile yeniden şekillenebildiği, mekân kullanıcılarına göre şekil alan mekân kavramının oluşturulduğu görülmektedir. İç mekânda strüktür, form, bölücü duvar gibi yapısal olmayan elemanların tasarımında, mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü, akustik panel gibi işlevlerde de kullanılabilir. Bunun yanında kolon, kiriş, döşeme gibi iskelet sistemlerde mukavemeti artırmaya yönelik de kullanılabilir. Yığma yapı sistemleri için de eklenen akıllı ipliklerle kompozit malzemelerin elde edilebileceği görülmektedir. Çevre koşullarına uyum gösteren ve tepki veren kabuk sistemlerin, pnömotik sistemlerin de oluşturulmasını sağlamaktadır. Kullanıcıya

**Tablo 3.** Mimari tasarımla ilgili Kendiliğinden Yapılanma Özellikli Projelerin İç Mekânda Kullanılabilirliği

PROJELERİN İÇ MEKÂNDA KULLANILABİLİRLİĞİ			
Proje Sırası	Yapısal Eleman	Yapısal Olmayan Eleman	Endüstriyel Tasarım Ürünü Teknolojik Yenilik
Logic Matter	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu olarak kullanılabilir.
Macrobot ve Decibot	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü olarak kullanılabilir. Kinetik bölücü elemanlar oluşturulabilir.
C- Strands	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Bio-Molecular Self Assembly	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	
Self-Folding Proteins	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü olarak kullanılabilir.
Fluid-Assembly Chair	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Mobilya tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü olarak kullanılabilir.
Aerial Assembly	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	
Fluid Lattices	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Şekil hafızası özelliği göstermektedir.
4D Printing	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Şekil hafızası özelliği göstermektedir.
Programmable Table	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Mobilya tasarımı	Her türlü iç ve dış mekân mobilyasına uyarlanabilir.
Transformable Screen Wall	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Transformable Meeting Spaces	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Rock Printing	Kolon, kiriş, döşemede kullanılabilir. Yığma yapı malzemesi olarak kullanılabilir.	Strüktür ve form tasarımı	Mukavemeti artıran akıllı ipliklerle yeni kompozit yapı malzemesi oluşturulmaktadır.
Modular and Morphable Jamming	Kolon, kiriş, döşemede kullanılabilir. Yığma yapı malzemesi olarak kullanılabilir.	Strüktür ve form tasarımı	Mukavemeti artıran akıllı ipliklerle yeni kompozit yapı malzemesi oluşturulmaktadır.
Slip-Form Rock Jamming	Yığma yapı malzemesi olarak kullanılabilir.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Jamming Bodies	Pnömotik yapı teknolojisinde olduğu gibi taşıyıcı özelliği vardır.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Active Textile	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir. İnteraktif, tepkisel mekanizma sistemi vardır.
Rapid Liquid Printing	-	-	Hızlı ve farklı malzemelerle seri üretim sağlamaktadır.
Liquid Printed Pneumatics	Pnömatik yapı teknolojisinde olduğu gibi taşıyıcı özelliği vardır.	Strüktür ve form tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü strüktürü olarak kullanılabilir. Çevre koşullarına göre uyum sağlayan kabuk sistemi sağlamaktadır.
Liquid to Air	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Strüktür ve form tasarımı	Akustik panel, bölücü duvar olarak işlevlendirilebilir.
Liquid Metal Printing	Taşıyıcı özelliği yoktur.	Mobilya tasarımı	Mobilya konstrüksiyonu, aydınlatma armatürü vb. gibi dekoratif ürünlerde kullanılabilir. Metal baskı teknolojisi ve hızlı prototipleme için yeni bir yöntem sağlamaktadır.

istediği fiziksel çevreye göre kendiliğinden yapılan bir mekân elde edebilmesi veya isteğe bağlı olarak şekil değiştiren bir mobilyaya sahip olması gibi olanaklar ve özgürlükler tanımaktadır. Ofis mekanlarında bölücü duvarların hem akustik görevi olması hem sınır ögesi olarak nihai forma göre kendiliğinden şekillenebilmesi de çalışma ortamında algısal ve fiziksel konforun artmasını sağlamaktadır. Bunun yanında kendiliğinden yapılanma kavramı ile yeni belirsizlikler ve problemlerin ortaya çıkacağı da öngörülmektedir. Özellikle programlanabilir malzemenin elektroniğe bağlı olması, siber saldırıya açık fiziksel bir çevre oluşmasına da neden olmaktadır. Ürünler bir biçimden diğerine şekil değiştirmeye başladıkça, fikri mülkiyet hakları da daha karmaşık hale geleceği ve patent sorunları yaratacağı da öngörülmektedir.

Kendiliğinden yapılanma kavramını sonuç olarak SWOT (Strength / Weakness / Opportunities / Threads) analizi üzerinden açıklanmıştır (Şekil 28).

Güçlü özellikler:

- Kendiliğinden yapılanma özelliği gösteren mobilyaların nakliyesinin kolay olması
- Şantiye, kurulum esnasında enerji ve zaman tasarrufu sağlaması
- Yeniden kullanılabilir, gerekli laboratuvar ortamında kolayca tamir edilebilir olma özelliği göstermesi
- Değişen kullanıcı isteğine göre kolayca uyarlanabil-

mesi, mekân kullanıcısının fiziksel konfor ve estetik ihtiyaçlarına kolayca yanıt verebilmesi

- Otomatik olarak fiziksel çevre koşullarına göre uyum sağlaması
- Atık metallerin kullanılması, sıvı ortamında daha az enerji ile baskı yapma gibi teknolojiler sayesinde sürdürülebilir ve evrensel özellik gösterme
- Yapısal ve yapısal olmayan elemanlara yenilikçi özellikler kazandırma (esnek formda taşıyıcı duvar oluşturulması vb.)

Zayıf özellikler:

- Üretimi için gerekli olan teknik ekipmanların eksikliği / tedarik edilmesinin zorluğu
- Kullanım açısından belirli talimatlara yönelik ön bilgi ve uzmanlık gerekebilmesi
- Ağırlıklı olarak dijital sürece dayalı olmasından ötürü analog alışkanlıkları olan kullanıcılar için alışma zorluğu
- Robotik özellik gösteren iç mekân öğelerinin (bölücü duvar ve mobilya vb.) geleneksel mimari ve iç mimari üsluptan uzak özellik göstermesi

Fırsatlar:



- Uzak mimarisinde, zorlayıcı fiziksel çevre koşullarına kolay uyum sağlayarak kullanılabilir olma
- Fiziksel yetisinde güçlük yaşayan mekân kullanıcıları için uyarlanabilir olma
- Sürdürülebilir ve yeniden kullanılabilir yapı malzemelerinin üretimini ve test edilmesini kolaylaştırma
- Kolay ve hızlı konut üretimi
- İnsan gücüne ihtiyaç duyan kurulum ve uygulama süreçlerinin en aza indirgenmesi

#### Tehditler:

- Programlanabilir malzemenin siber saldırılara açık olması ve bu tür durumlarda arızalanması
- Robotik özellik göstermesinden ötürü kullanıcıda tekinsizlik hissi ve güvensizlik algısı oluşturması
- İnsan gücüne ihtiyacın azalmasından ötürü meslek dallarının değerini yitirmesi ve yok olması

Sonuç olarak mimari tasarımda, kendiliğinden yapılanma, yapıların veya yapı bileşenlerinin kendilerini otomatik olarak istenen bir biçime veya desene organize ettiği bir yöntemi ifade etmektedir. Bu süreçte ise genellikle

doğadan veya algoritmalarından gelen ilkeler kullanılmaktadır. İç mimaride ise kendiliğinden yapılanma, birbirine geçen veya kendi kendine yeniden yapılandırılan modüler mobilya veya duvar sistemleri oluşturmak için kullanılabilir. Kullanıcı isteğine göre hareket eden bölücü duvarlar farklı ihtiyaçlara uyum sağlayabilen esnek alanlar sağlamaktadır. Örneğin, oda düzenlerini değiştiren modüler bölücüler veya kolayca monte edilebilen ve yeniden monte edilebilen mobilyalar kullanıcılarına dinamik ve uyarlanabilir iç mekân tasarımları sunabilmektedir.

Gelecek dönemde ise kendiliğinden yapılanma teknolojisi tasarımcının ve kullanıcısının yenilikçi, verimli ve öngörülemez mimari biçimler elde etmesini sağlayacaktır. Ancak mimari tasarımcıya yeni olanaklarla birlikte farklı etik ve tasarım kaygılarını da getireceği düşünülmektedir. Süreç içerisinde tasarımcıların, nihai tasarım ögesinin her bir parçasını göz önüne alarak, malzeme içerisine entegre edilen elektronik çiplerle kodlama yaparak tasarımını oluşturacağı da öngörülmektedir. Bu bağlamda mimari tasarımda malzeme ve bilgisayar bilimi ile ortak çalışmalar yapılmasının ve güncel araştırmaların takip edilmesinin önemi de anlaşılmaktadır.

#### Orcid

Nisa Nur Göksel <https://orcid.org/0000-0001-5932-6548>

Nuriye Nida Çelebi Şeker <https://orcid.org/0000-0003-3965-5744>

## Kaynakça

- Aejmelaeus-Lindström, P., Mirjan, A., Gramazio, F., Kohler, M., Kernizan, S., Sparrman, B., Laucks, J., Tibbits, S. (2017). Granular Jamming of Loadbearing and Reversible Structures: Rock Print and Rock Wall. *Architectural Design*. 87. 82-87.
- Bodur, G. (2017). Fab Lab ve Bulut Tabanlı Tasarım Uygulamaları ile Dijital Çağda Tasarımcının Değişen Rolü. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5(2), 37-52.
- Campbell, T., Tibbits, S., Garrett, B. (2014). The Programmable World. *Scientific American*. 311. 60-5.
- Cohen, Z., Elberfeld, N., Moorman, A., Laucks, J., Kernizan, S., Holmes, D., Tibbits, S. (2020). Superjammed: Tunable and Morphable Spanning Structures Through Granular Jamming. *Technology|Architecture + Design*. 4. 211-220.
- Dahman, Y. (2017). Self-Assembling Nanostructures. *Nanotechnology and Functional Materials for Engineers*. 207-228.
- Grassi, G., Sparrman, B., Paoletti, I., Tibbits, S. (2022). 4D Soft Material Systems. In: Yuan, P.F., Chai, H., Yan, C., Leach, N. (eds) *Proceedings of the 2021 DigitalFUTURES. CDRF 2021*. Springer, Singapore, pp. 201–210.
- Hasol, D. (2021). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*, Yem Yayınevi, İstanbul.
- Hawkes, E., An, B., Benbernou, N., Tanaka, H., Kim, S., Demaine, E., Rus, D., Wood, R. (2010). Programmable matter by folding. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 107 (28):12441–12445.
- Koçak, B. (2021). Computational modeling of self-assembly in deformable bodies. *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, ODTÜ, Ankara.
- Mehdizadeh, S., Tessmann, O. (2023). Roll-Locks: A Fabrication to Self-Assembly Design-Framework for Reusable Discrete Concrete Elements. *Advances in Architectural Geometry 2023*, edited by Kathrin Dörfler, Jan Knippers, Achim Menges, Stefana Parascho, Helmut Pottmann and Thomas Wortmann, Berlin, Boston: De Gruyter, pp. 151-164.
- Menges, A., Tibbits, S. (2012). Design to Self-Assembly. *Architectural Design*. 82 (2) : 68-73.
- Papadopoulou, A., Laucks, J., Tibbits, S. (2017a). Auxetic materials in design and architecture. *Nature Reviews Materials*. 2 (12): 17078.
- Papadopoulou, A., Laucks, J., Tibbits, S. (2017b). From Self-Assembly to Evolutionary Structures. *Architectural Design*. 87 (4): 28-37.
- Material district. (2015). <https://materialdistrict.com/article/self-assembling-wood-weather-activated-clothes-mit-says-yes/> Erişim tarihi: 17.01.2024
- Sevinç, Ö. (2023). Cephe sistemlerinde akıllı malzemelerin yeri ve yüksek yapılarda uygulanabilirliği. *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Maltepe Üniversitesi, İstanbul.
- Tavşan, F., Tavşan, C., Fethaçoğlu, E. (2021). İç Mekânda Enerji Verimliliği ve Teknoloji İlişkisi: Güncel Uygulamalar Bağlamında Bir İrdeleme. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 4(2): 112-120.
- Tibbits, S. (2010). Logic matter: digital logic as heuristics for physical self-guided-assembly. *Yüksek Lisans Tezi*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Tibbits, S., Cheung, K. (2012). Programmable materials for architectural assembly and automation. *Assembly Automation*. 32 (3):

- 216-225.
- Tibbits, S. (2014). 4D Printing: Multi-Material Shape Change. *Architectural Design*. 84 (1): 116-121.
- Tibbits, S., Kara'in, L., Schaeffer, J., Puig, H., Gomez-Marquez, J., Young, A. (2014). DNA disPLAY: Programmable bioactive materials using CNC patterning. *Architectural Design*. 84 (4): 104-111.
- URL-1 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/> Erişim tarihi: 25.12.2023
- URL-2 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/programmable-materials> Erişim tarihi: 17.01.2024
- URL-3 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/about> Erişim tarihi: 17.01.2024
- URL-4 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/logic-matter/> Erişim tarihi: 25.12.2023
- URL-5 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/bots/> Erişim tarihi: 25.12.2023
- URL-6 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/c-strands/> Erişim tarihi: 26.12.2023
- URL-7 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/biomolecular> Erişim tarihi: 07.01.2024
- URL-8 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/proteins/> Erişim tarihi: 26.12.2023
- URL-9 (2023). <https://selfassemblylab.mit.edu/fluid-assembly-chair/> Erişim tarihi: 27.12.2023
- URL-10 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/aerial-assembly/> Erişim tarihi: 05.01.2024
- URL-11 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/fluid-lattices/> Erişim tarihi: 05.01.2024
- URL-12 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/4d-printing/> Erişim tarihi: 07.01.2024
- URL-13 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/programmable-table/> Erişim tarihi: 08.01.2024
- URL-14 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/new-gallery/> Erişim tarihi: 08.01.2024
- URL-15 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/transformable-meeting-spaces/> Erişim tarihi: 12.01.2024
- URL-16 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/rock-printing/> Erişim tarihi: 12.01.2024
- URL-17 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/modular-and-morphable-jamming/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-18 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/slip-form-rock-jamming/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-19 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/jamming-bodies/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-20 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/active-textile/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-21 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/rapid-liquid-printing/> Erişim tarihi: 13.01.2024
- URL-22 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-printed-pneumatics/> Erişim tarihi: 14.01.2024
- URL-23 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-to-air> Erişim tarihi: 14.01.2024
- URL-24 (2024). <https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-printed-metal> Erişim tarihi: 15.01.2024
- URL-25 (2023). <https://www.youtube.com/watch?v=2Lfm1uRPqo8> Erişim tarihi: 21.12.2023
- Xia, X., Spadaccini, C.M., Greer, J.R. (2022). Responsive materials architected in space and time. *Nature Reviews Materials*. 7: 683–701.

# Color detection based object discrimination design and development

## Renk Algılama Temelli Nesne Ayrımı Tasarımı ve Geliştirilmesi

Okan Dinç<sup>1\*</sup> , Veysel Tileği<sup>1</sup> , Emir Enes Taş<sup>1</sup> , Delal Altunok<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Koluman Otomotiv Endüstri A.Ş., Mersin, Türkiye

<sup>2</sup>Gaziantep University, Gaziantep, Türkiye

**Abstract:** The rapid advancement of technology has led to a significant increase in the demand for mechanical power. Mechanical power has become a crucial component of contemporary technology by reducing human labor, minimizing error margins, and increasing production capacity. In this context, robots that can be programmed for various purposes and perform specific functions are widely used in industrial applications. Specifically, robotic arms constitute one of the fundamental elements of industrial automation. This paper examines the applicability of a stationary robotic arm. The proposed system aims to enhance the speed, safety, and accuracy of processes such as product sorting, placement, and organization in factories. Fundamentally, a solution is proposed by integrating three main systems for this purpose: a conveyor belt system, a robotic arm, and image processing systems.

**Keywords:** Image processing systems, Product sorting, Placing and organizing, Factory automation, Robot arms, Conveyor belt

**Özet:** Teknolojinin hızla ilerlemesi, mekanik güce olan talepte önemli bir artışa yol açmıştır. Mekanik güç, insan emeğini azaltarak, hata paylarını en aza indirerek ve üretim kapasitesini artırarak çağdaş teknolojinin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Bu bağlamda, çeşitli amaçlar için programlanabilen ve belirli işlevleri yerine getirebilen robotlar endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle robot kollar, endüstriyel otomasyonun temel unsurlarından birini oluşturmaktadır. Bu makale, sabit bir robot kolunun uygulanabilirliğini incelemektedir. Önerilen sistem, fabrikalarda ürün ayırma, yerleştirme ve düzenleme gibi süreçlerin hızını, güvenliğini ve doğruluğunu artırmayı amaçlamaktadır. Temel olarak, bu amaç için üç ana sistem entegre edilerek bir çözüm önerilmektedir: bir konveyör bant sistemi, bir robotik kol ve görüntü işleme sistemleri.

**Anahtar kelimeler:** Görüntü işleme sistemleri, Ürün ayırma, Yerleştirme ve düzenleme, Fabrika otomasyonu, Robot kolları, Konveyör bant

## 1. Introduction

### 1.1. Motivation of the study

In contemporary settings, technological devices play a crucial role in every aspect of life, from production to consumption. To prevent adverse situations arising from human errors in the production phase and to ensure continuous and sustainable production without fatigue even during extended working hours, various systems have been developed. In this context, robotic arms are among the foremost examples. Robotic arms are frequently utilized in various factory departments, including production, packaging, transportation, and sorting. Systems integrated with image processing are designed to separate defective products in production or to sort a wide variety of products emerging from production. These systems can detect defective products more quickly and accurately than the human eye might miss. Additionally, they are preferred in sorting operations due to their higher carrying capacity

compared to manual labor. This paper highlights a concept designed to identify and sort products in continuously operating factories as desired. The objective is to achieve a more accurate and faster sorting process. The proposed project consists of three main systems: a conveyor belt, a robotic arm, and an image processing system.

### 1.2. What is Object Discrimination Based on Color Detection?

The technique of sorting objects based on color without using a physical color sensor is referred to as object sorting based on color detection. This technique involves capturing images of objects moving along a conveyor belt using a camera or another visual device instead of a sensor. Subsequently, these images are analyzed using image processing algorithms to determine the color and shape of each object. As shown in Figure 1, a system with a robotic arm capable of sorting based on color and shape is proposed (Shah and Mishra, 2019).

\*İletişim Yazarı / Corresponding author. Eposta/Email : okan.dinc@koluman.com

Geliş / Received: 26.06.2024, Revizyon / Revised: 12.07.2024

Kabul / Accepted: 20.08.2024



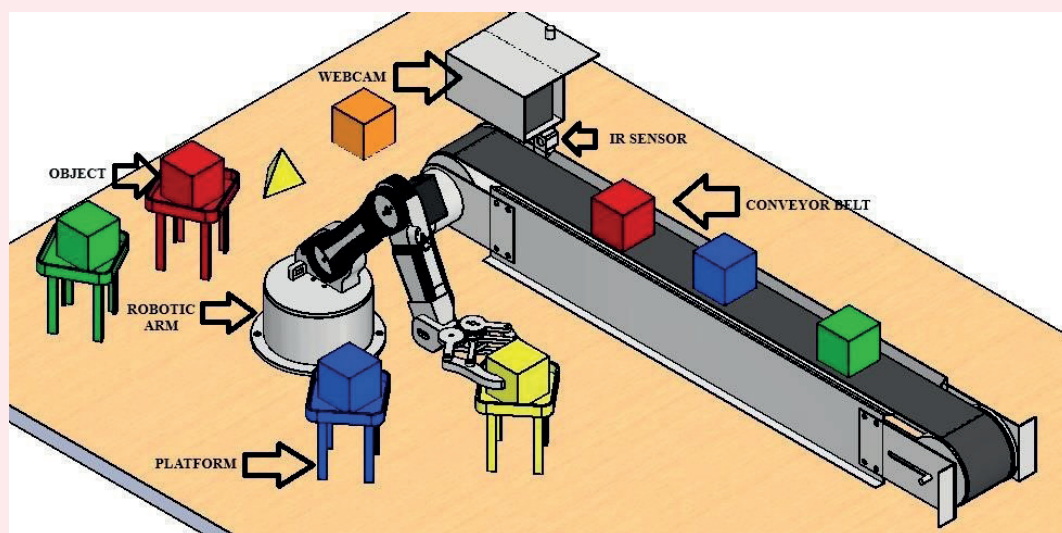


Figure 1. Color Detection Based Object Sorting

## 2. Material

- Microprocessor
- L293D
- DC Motor
- Servo Motors
- IR Sensor
- Analogue HD Camera
- Platform and Objects
- Power supply
- Carrying band
- Robot arm

### 2.1. L293D

The system that ensures the flawless and reliable operation of control boards or circuits in any structure is referred to as the L293D. When a current demand significantly higher than what the control board can provide is required, the use of motor drivers becomes crucial. This is necessary to prevent the control boards and circuits from burning out during operation. Motor drivers facilitate the smooth passage of current and energy delivery through effective current control. Notably, due to their ability to operate independently on both sides, they have the potential to drive two motors simultaneously in both directions.

### 2.2. Servo Motor

Servo motors are essential for enabling the movement of each joint in a robotic arm. A typical robotic arm consists of multiple joints. In the proposed project, SG90 micro servo motors are selected to facilitate two-axis movement of the robotic arm. These motors operate at a DC voltage range of 4.8 to 6 V. Due to their small dimensions, they are preferred for use in the gripper part of the robotic arm. The speed rating is 60 degrees per 0.1 seconds at 4.8V, and the stall torque is 1.8 kg·cm at 6V. The rotation angle ranges from 0° to 180°. For the primary movements of the robotic arm, MG996 model servo motors are recommended. This motor operates within a voltage range

of 4.8 to 7 V and draws 500 mA of current. The reason for choosing this motor is its torque capability, which is 9.4 kg·cm at 4.8V and 11 kg·cm at 6V (Cong and Hanh, 2021)

### 2.3. IR Sensor

To detect when an object on the conveyor belt reaches the front of the robotic arm, an IR sensor is proposed. This sensor has a detection range of 2 to 30 cm, adjustable via an onboard potentiometer. It features a detection angle of 35 degrees and incorporates an LM393 comparator. Powered by 5V, the sensor provides a digital output, making it suitable for use in this project.

### 2.4. Platform and Object

The platform where objects will be placed is intended to be made of PLA material. The platform dimensions should be 70 mm in height, 40 mm in width, and 40 mm in length. It is envisaged that the platform will be designed with four different colors: red, blue, yellow, and green. As for the objects to be sorted, a cube made of PLA with dimensions of 40x40x40 mm has been selected. The cubes are also intended to be designed in four different colors: red, blue, yellow, and green. Additionally, it is planned to use two defective objects in the project, which could be an orange cube and a yellow triangular pyramid. The dimensions of these solid objects are illustrated in Figure 2. Furthermore, it is contemplated to use a platform with dimensions as seen in Figure 3.

### 2.5. Conveyor Belt

The planned conveyor belt is intended to be made of PVC material, with dimensions set at 80 mm in width, 600 mm in length, and 70 mm in height. A geared DC motor will be utilized for the movement of the conveyor belt. This geared DC motor operates at 12 V voltage and has a capability of making 37 revolutions per minute (RPM). The conveyor belt used adheres to the lengths illustrated in Figure 4. Additionally, a straight PVC belt is considered for use.



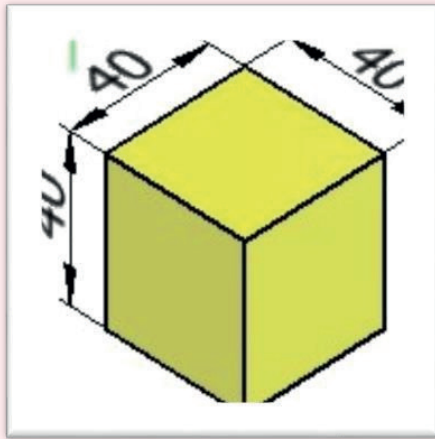


Figure 2. Object

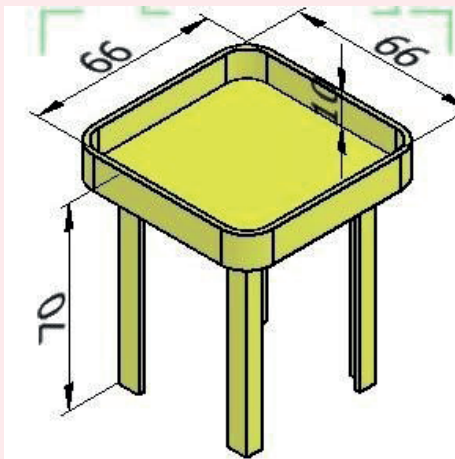


Figure 3. Platform

## 2.6. Robotic Arm

The envisaged robotic arm is intended to be manufactured from PLA material and to have five degrees of freedom (5 DOF). Five DOF implies that in a robotic arm, five separate axes of motion or points of articulation can move independently. As depicted in Figure 5., a robotic arm of the specified dimensions is proposed for use. Additionally, it is indicated that a robotic arm with 5 DOF will be employed, as shown in Figure 6. (Cong , 2021).

## 3. Image Processing Mechanism

The image processing system operates through two main components: color detection and shape recognition.

### 3.1. Color Detection

The color detection process is based on the RGB (Red, Green, and Blue) color model. In this model, the red, green, and blue components of each pixel are analyzed. The system is designed to detect four primary colors: red, yellow, blue, and green. The algorithm analyzes the RGB values of each pixel and compares them with predefined color threshold values (Szabó and Lie, 2012).

#### 3.1.1 Color Thresholding

In this process, each color is defined within a specific range, and pixel values are analyzed accordingly. For instance, a particular threshold value is set for detecting the color red, and pixel values above this threshold are identified as red. Similarly, similar threshold values are determined for other colors (Szabó and Lie, 2012).

#### 3.1.2 Histogram-Based Thresholding

This technique involves analyzing the color distribution of the image and determining the intensity of specific colors through histograms. A histogram is generated for each color, and color segmentation is performed based on predefined threshold values. This enables more precise and accurate detection of colors.

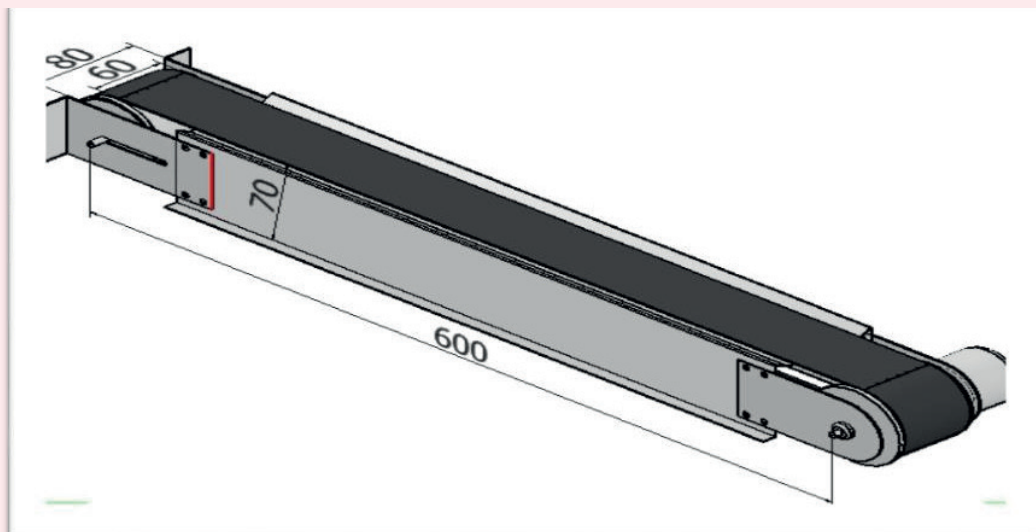


Figure 4. Conveyor Belt

### 3.1.3 Color Segmentation

In this step, pixels are grouped according to predefined threshold values, creating distinct regions with different colors on the image. Segmentation allows for the separation of specific color regions of the object and their identification. Through color segmentation, the object's color is accurately determined and relayed to the micro-controller.

## 3.2. Shape Detection

Shape recognition process ensures accurate identification of objects by analyzing their geometric features. In this system, the desired shape is determined as a cube, while the faulty shape is designated as a triangular prism. Shape recognition process consists of two main steps: edge detection and feature extraction.

### 3.2.1 Edge Detection

Edge detection is utilized to delineate the boundaries of

objects. For this process, contour extraction algorithms such as Canny Edge Detection are employed. The Canny algorithm calculates the gradient of the image and defines gradients above a certain threshold value as edges. Consequently, prominent edges of the object are detected, and contours of the object are extracted based on these edges.

### 3.2.2 Feature Extraction

After edge detection, the shape of the object is analyzed using specific geometric parameters. In this process, parameters such as the number of corners, roundness, and surface features of the object are computed. For instance, a cube has six faces and eight corners. By extracting these characteristics, it is determined whether the object is a cube or not. Similarly, faulty shapes like triangular prisms can also be identified using these parameters.

### 3.2.3 Analysis of Geometric Parameters

Specific geometric parameters of the object are comput-

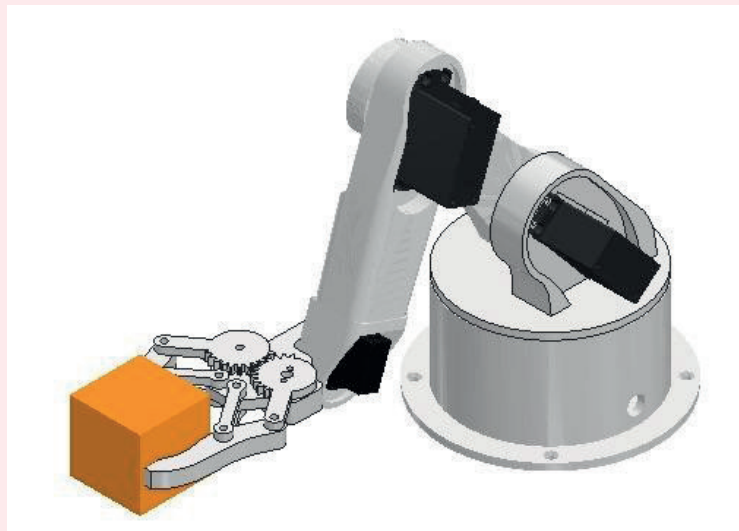


Figure 5. Robotic Arm Dimensions

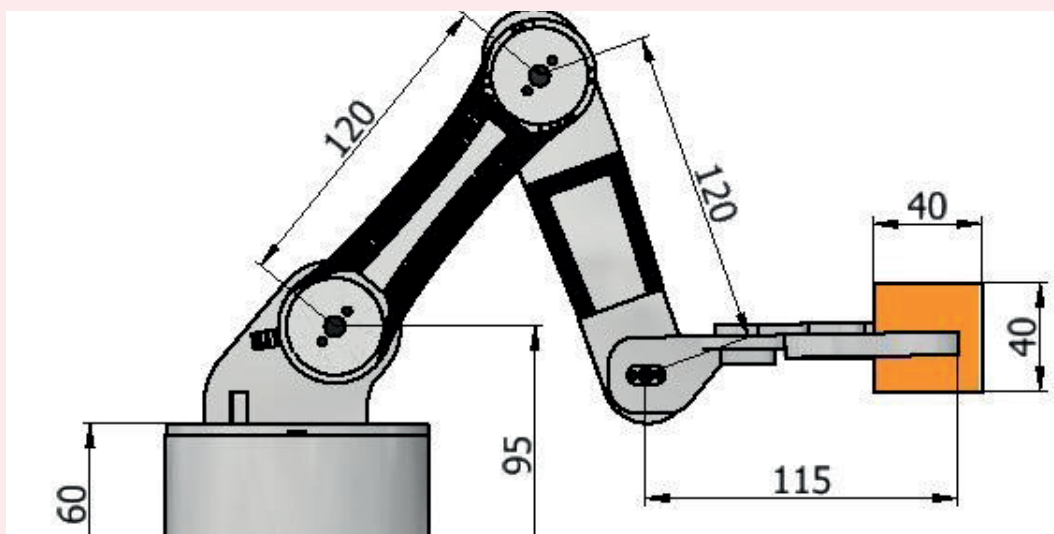


Figure 6. Robotic Arm

ed, and shape classification is conducted based on these parameters. For instance, parameters such as roundness degree, number of corners, and edge lengths facilitate the identification of the object. For a cube, the expectation is eight corners and equal edge lengths, whereas different corner and edge numbers are applicable for a triangular prism.

### 3.2.4 Shape Classification

Using the data obtained during the feature extraction stage, the shape of the object is classified. This classification is communicated to the microcontroller, enabling necessary decisions for placing the object in the predetermined position.

## 4. Description of the Project

### 4.1. Algorithm

- The conveyor belt is activated, the robotic arm is positioned to its home position, and the image processing system is initiated.

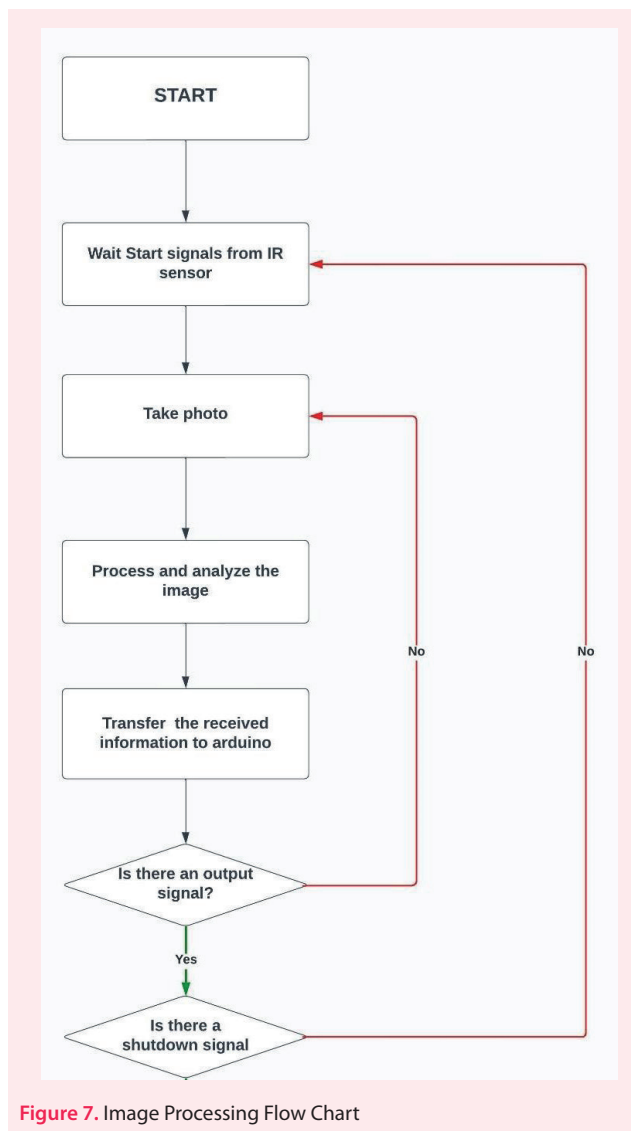


Figure 7. Image Processing Flow Chart

- The IR sensor detects the object coming from the conveyor belt and sends this information to the microcontroller to initiate the process.
- The microcontroller halts the conveyor belt using the information received from the IR sensor.
- The image processing system perceives the color and shape of the object and communicates this information to the microcontroller.
- The microcontroller identifies and places the object on the conveyor belt based on the image processing data.
- After completing the operation, the robotic arm returns to its initial position.
- The conveyor belt is reactivated, continuing the process loop

### 4.2. Insertion of Artificial Errors and System Response

To assess the accuracy and reliability of the system, specific artificial errors have been introduced. These errors are utilized to demonstrate how the system responds to certain color and shape combinations. Particularly, the system is designed to detect only cubes in red, yellow, and green colors.

When unwanted objects such as a pink cube or a green triangle are introduced to the system, it will not respond to these objects and will not perform any action (Šekoranja Švaco and Jerbić, 2014)

Figure 7 shows the Image Processing Flow Chart, and Figure 8 presents the Robotic Arm Flow Chart.

#### 4.4.1 Pink Cube

Since the system does not recognize the color pink, it will not detect this object, and the conveyor belt will not be stopped.

#### 4.4.2 Green Triangle

The system identifies triangular prisms as faulty shapes during the shape recognition stage. Even though the color green is correct, this object will not be processed due to the shape recognition algorithm.

These artificial errors demonstrate that the system processes only objects that meet the specified criteria and minimizes false positives.

## 5. Design

### 5.1. Robotic Arm

The parts of the robotic arm were designed in Autodesk Inventor CAD software. The assembly of the parts in the software is shown in Figure 9.

All components of the robotic arm are intended to be

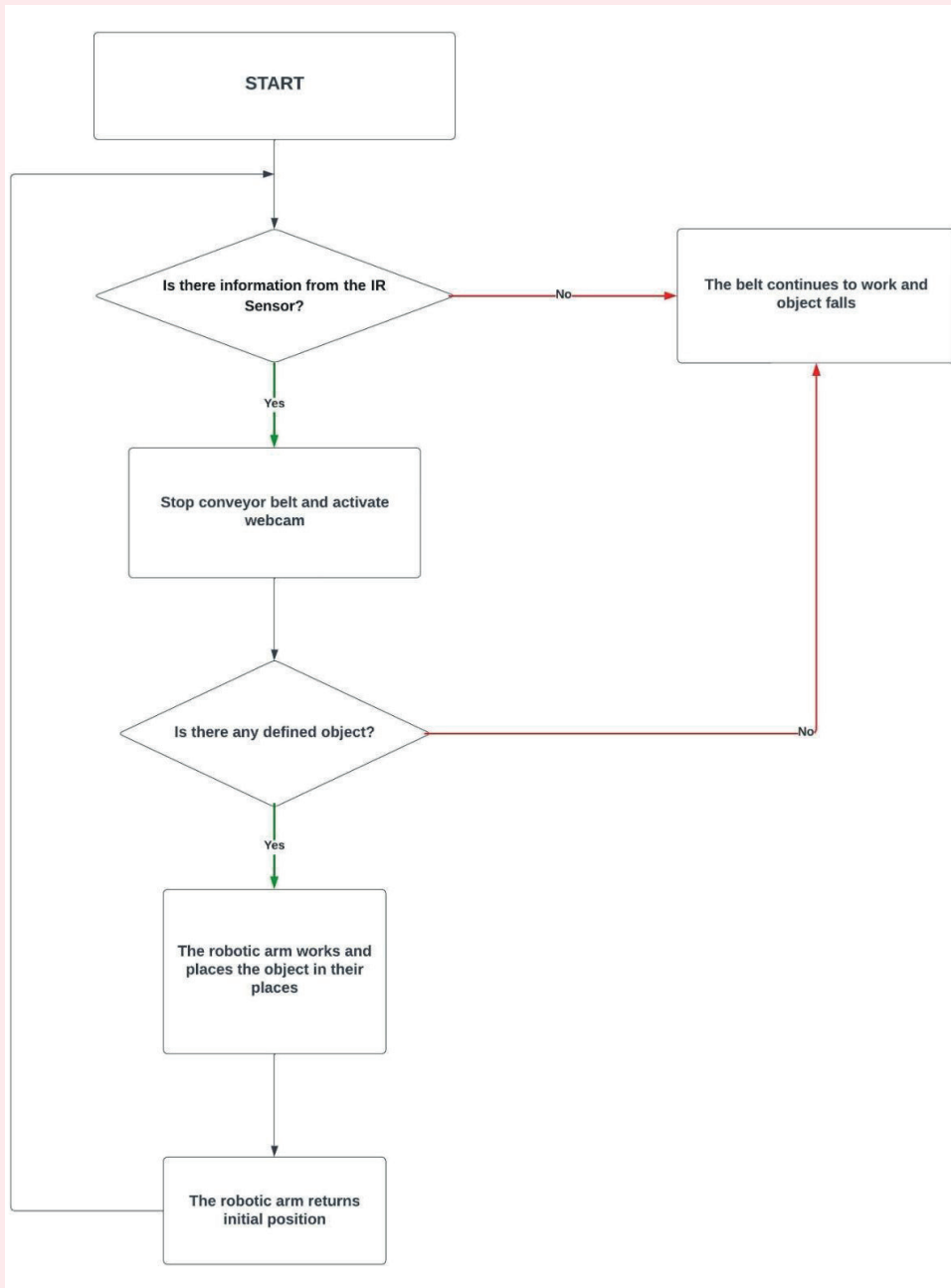


Figure 8. Robotic Arm Flow Chart



Figure 9. Assembly of parts in software

made of PLA thermoplastic. Arm-1, Arm-2, the mounting base, and the holders are fastened to each other at the junctions with the axis of the servo motors. Screws should be used to secure the servo motors and connections to the arms and base. One of the servo motors (MG996), as shown in Figure 10, should be mounted to the base of the robotic arm.

One of the servo motors (MG996) should be placed on the waist of the robot arm as shown in Figure 11.

The servo motor (MG996) attached to the waist should be connected to Arm-1 shown in Figure 12. The other end of arm-1 should be connected to arm-2 using the third servo motor (MG996).

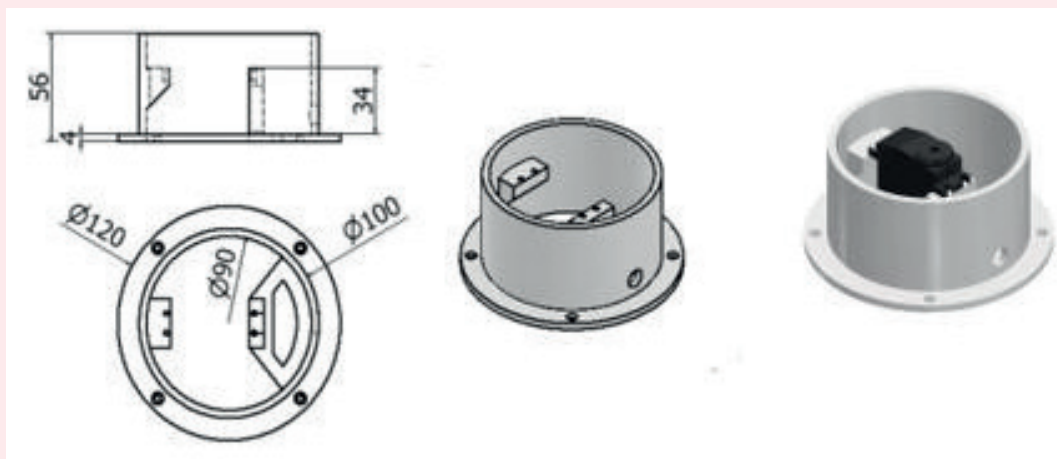


Figure 10. Base of robotic arm

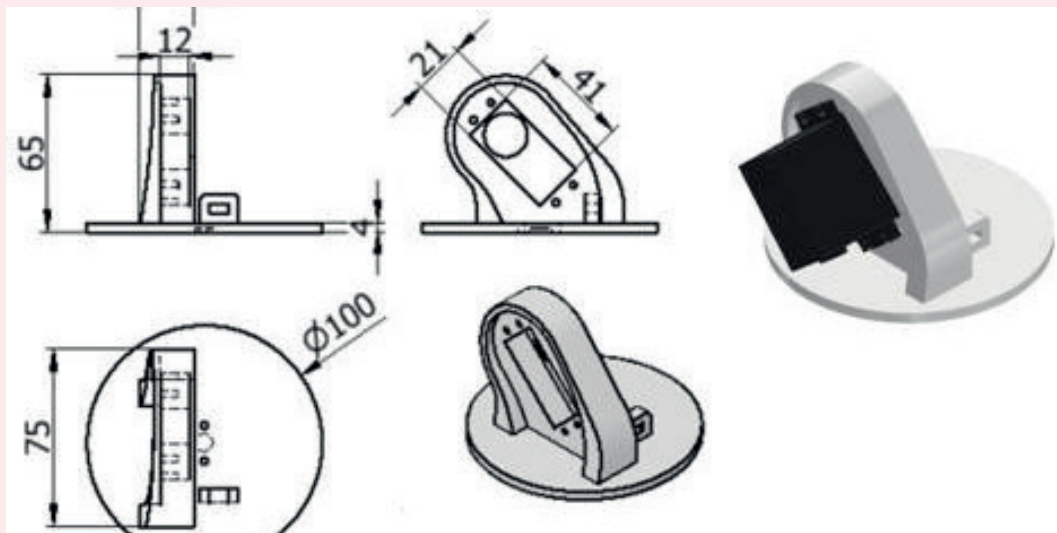


Figure 11. Waist part of the robotic arm



Figure 12. Arm-1 of the Robotic Arm

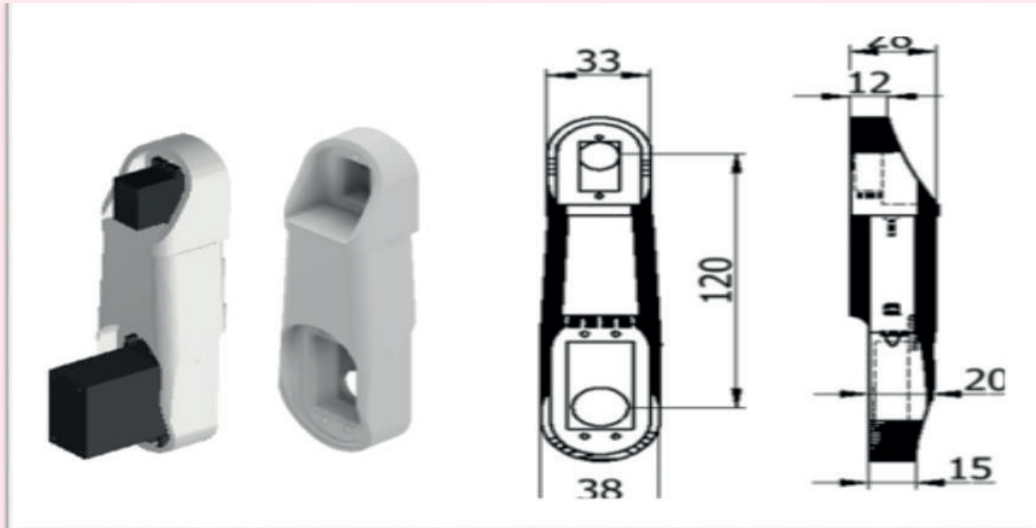


Figure 13. Robot's Arm-2

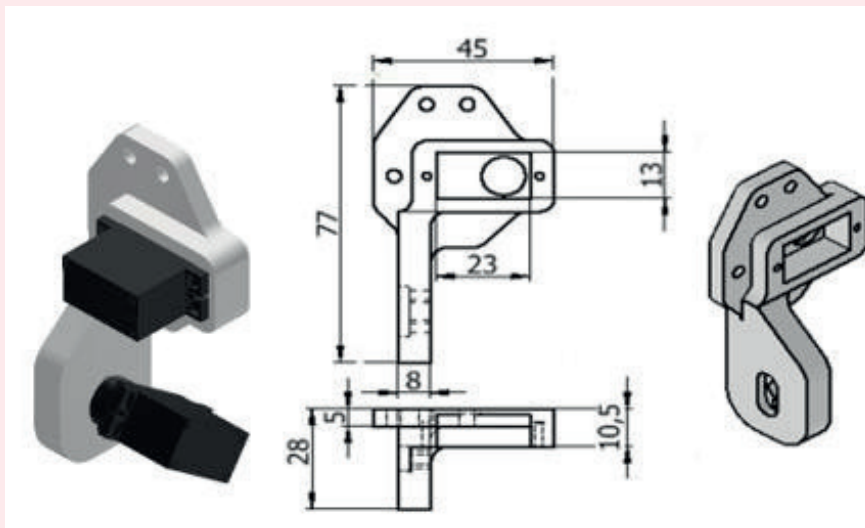


Figure 14. Base of the clutch mechanism

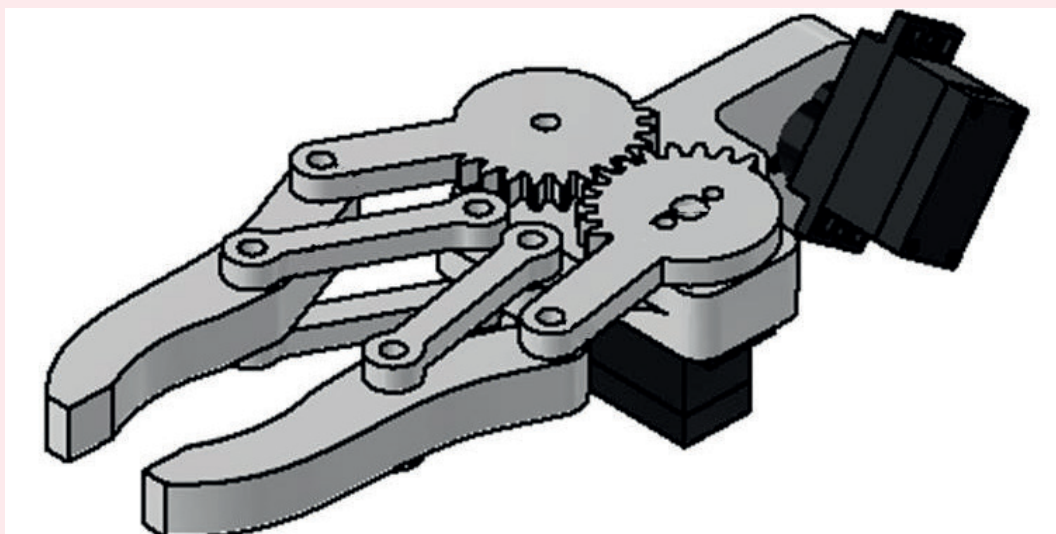


Figure 15. Assembly of the Clutch Mechanism



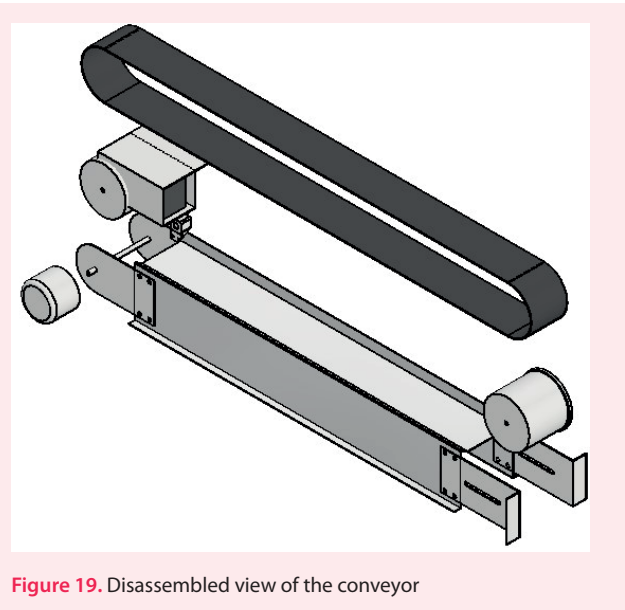


Figure 19. Disassembled view of the conveyor

mm cubes. This mechanism consists of two rollers, two fixtures, and one 12V DC motor, bearings for the rollers and motors, and a PVC flat belt. One of the rollers is in a fixed position, while the other can slide within a socket to adjust the tension of the PVC belt. Additionally, it is planned to install a camera and a reflector to detect the cubes on the conveyor. The body of the conveyor is intended to be manufactured from sheet metal. The components of the conveyor are depicted in Figure 17. and the overall appearance of the conveyor is presented in Figure 18.

The disassembled view of the conveyor is shown in Figure 19.

## Reference

- Cong, V.D. (2021). Industrial robot arm controller based on programmable system-on-chip device. *FME Transactions*, 49(4), 1025-1034.
- Cong, V., Hanh, L., Phuong, L., & Duy, D. (2022). Design and development of robot arm system for classification and sorting using Machine Vision. *FME Transactions*, 50(2), 181–181. <https://doi.org/10.5937/fme2201181c>
- Kamlesh Shah, S., Mishra, R., Prasanna, D., & Mohapatro, G. (2019). Fabrication and deviation analysis of a 5-axis robotic arm using image processing technique. *Materials Today: Proceedings*, 18, 4622–4629. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.446>
- Roland Szabó, Joao Lie. Automated color object sorting application for robotic arms. *IEEE*, 2012.
- Šuligoj, F., Šekoranja, B., Švaco, M., Jerbić, B. (2014). Object tracking with a multiagent robot system and a stereo vision camera. *Procedia Engineering*, 69, 968-973.

## 6. Realistic Constraints

To address the issue of slippage when the gripper holds the object due to being made of the same material, it is planned to use silicone or rubber. To ensure clear perception of color and shape in any environment, LEDs can be placed inside the camera enclosure. To mitigate the complexity arising from the excessive number of cables used in this system, soldering is contemplated. Care should be taken to maintain a sufficient length for the camera enclosure to avoid restricting the movement of the robotic arm.

## 7. Conclusion

The primary objective of the “COLOR-BASED OBJECT SORTING” idea is to streamline business operations. The proposed project will provide companies with a range of financial advantages. This system will enable accurate and fast production processes, contributing to continuous production and enhancing customer satisfaction, thereby increasing the company’s brand value. The scalability of the project is particularly important for businesses; this allows the system to be integrated not only for the mass production of products but also into various other areas such as product packaging, detection of defective or damaged products, warehouse organization, and product assembly.

## Orcid

Okan Dinç  <https://orcid.org/0009-0002-6880-8412>

Veysel Tileği  <https://orcid.org/0009-0000-7460-7233>

Emir Enes Taş  <https://orcid.org/0009-0006-4058-1323>

Delal Altunok  <https://orcid.org/0009-0003-7127-1094>



# Drag reduction of ground vehicle by decreasing flow separation with a passive flow control part

**Bir pasif akış kontrol parçası ile akış ayrılmasını azaltarak kara taşıtının sürüklenme kuvvetinin azaltılması**

Cihan Bayındırlı<sup>\*1</sup> , Mehmet Celik<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Nigde Omer Halisdemir University, Nigde Vocational School of Technical Sciences, 51200, Nigde, Türkiye

<sup>2</sup>Karabük University, Faculty of Engineering, 78050, Karabük, Türkiye

**Abstract :** This study focuses on reducing the aerodynamic drag force on a ground vehicle model with a spoiler model. The spoiler model was designed to delay the flow separation and passive flow control. A 1/15 scaled vehicle model was used in wind tunnel tests. That vehicle model is used in the passenger transportation sector. The spoiler model was designed in the SolidWorks® and produced by using a 3D printer. The spoiler was mounted on the front roof area of the vehicle at 10% and 5% (L/H) rates. The wind tunnel tests were carried out at four different free-flow velocity speeds. The drag coefficient was reduced by 3.93% in model 1 and 2.86% in model 2. Flow separation was delayed and decreased by this flow control part application on the vehicle. These drag reductions can decrease the fuel consumption of vehicle models by about 2% at high speeds.

**Keywords:**  $C_D$ , Drag, CAD, Wind tunnel tests, Aerodynamic study, Passive flow control method

**Özet:** Bu çalışma, bir zemin aracı modelinde spoiler modeli kullanarak aerodinamik sürüklenme kuvvetini azaltmaya odaklanmaktadır. Spoiler modeli, akış ayrılmasını geciktirmek ve pasif akış kontrolü sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Rüzgar tüneli testlerinde 1/15 ölçekli bir araç modeli kullanılmıştır. Bu araç modeli, yolcu taşımacılığı sektöründe kullanılmaktadır. Spoiler modeli, SolidWorks® programında tasarlanmış ve 3D yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Spoiler, aracın ön tavan bölgesine %10 ve %5 (L/H) oranlarında monte edilmiştir. Rüzgar tüneli testleri, dört farklı serbest akış hızıyla gerçekleştirilmiştir. Sürüklenme katsayısı model 1'de %3,93 ve model 2'de %2,86 oranında azaltılmıştır. Bu akış kontrol parçası uygulaması, araç üzerindeki akış ayrılmasını geciktirmiş ve azaltmıştır. Bu sürüklenme azaltmaları, yüksek hızlarda araç modellerinin yakıt tüketimini yaklaşık %2 oranında azaltılabilir.

**Anahtar Kelimeler:**  $C_D$ , Sürüklenme, CAD, Rüzgar tüneli testleri, Aerodinamik çalışma, Pasif akış kontrol yöntemi

## 1. Introduction

Some devices that enable the flow around an object moving in the air to be used for various purposes by directing it are flow control parts inherent in some living things. The aerodynamic features of bird wings and the benefits they bring to the lives of birds have attracted the attention of researchers throughout history, and these aerodynamic features have been used on many vehicles produced for the benefit of humanity. These features are primarily used in aviation, space vehicles, and weapon systems. Bhatnagar, 2014 was initially developed regarding the geometry and aerodynamics of the wing profiles and diversified to meet different targets. Afterward, the desired features were further developed with passive flow control methods. These methods, which are used today to reduce vehicle fuel consumption, have brought

positive results in environmental and economic fields. It has positive effects, reducing flow separation into the flow around the vehicle, reducing the  $C_D$  coefficient, and reducing noise. Wing application, one of the systems to reduce drag force, was introduced and allowed in Formula 1 in 2011 by Wordley et al., 2014. Approximately 20% improvement in drag force was achieved by placing flaps horizontally on certain runway parts while the pilot was in motion. Significant improvements were achieved in aerodynamic drag force in multi-element wing applications subjected to free-flow testing. With front and rear wing applications, aerodynamic drag was reduced by 53%. A similar application of drag reduction systems was made to Formula Student (FST) racing cars, and lap reduction times of approximately 1.5 seconds were achieved on a track covering 30 laps by Kajiwara, 2017. Smith, 1974 used to wing profiles in motorsports and

\*İletişim Yazarı / Corresponding author. Eposta/Email : cbayindirli@ohu.edu.tr

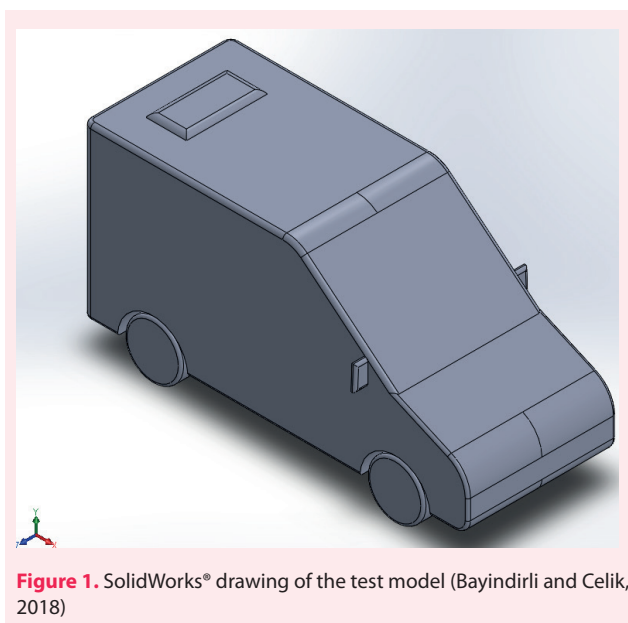
Geliş / Received: 13.07.2024, Revizyon / Revised: 11.08.2024

Kabul / Accepted: 20.08.2024



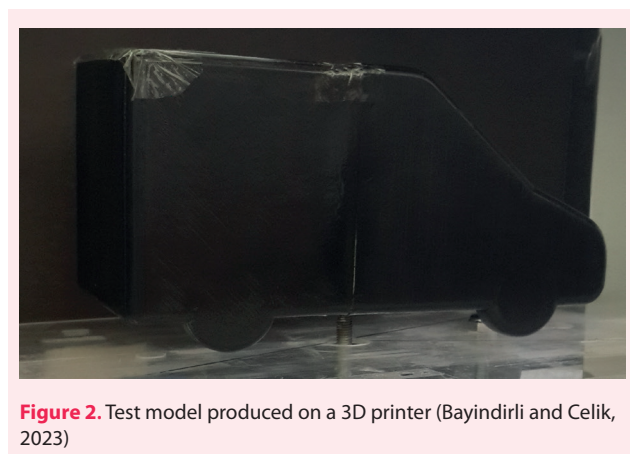
ground vehicles are the same as those used in aviation. For this reason, many different wing profiles are used according to different usage patterns. Aerodynamic studies have different profile types for various motorsports. Drag reduction, according to surface structure, is a passive control method that does not require energy input and has attracted the attention of many researchers. The method of reducing drag with grooves is one of the few techniques that have been successfully applied in aerodynamics. Inspired by shark skin, McBeath, 2006 has tried to make replicas and optimize the geometry in different flow fields. For curved surfaces where the flow is separated, the surface structure can also reduce aerodynamic drag by affecting the laminar transformation of the liquid (Palanivendhan et al., 2021). The longitudinal grooves V-groove and U-groove parallel to the speed can suppress acceleration (Langtry and Menter, 2009 and Aftab et al., 2009). The most significant resistance force component affecting ground vehicles is aerodynamic force. Reducing aerodynamic force effectively reduces engine power and, therefore, fuel consumption. Flow control methods are used to reduce the drag force and improve the flow structure around the vehicle. These methods are divided into two: active and passive methods. In the passive flow control method, which is the most used method, the vehicle has no energy consumption. Another important aspect of this study is that when the  $C_D$  coefficient is reduced by 2% in a ground vehicle moving at high speeds, fuel consumption decreases by approximately 1% (Wood, and Bauer, 2003). Kishore et al., 2022 divided the aerodynamic drag reduction methods in automobiles and airplanes into two groups in the literature and stated that wave drag is to lengthen or improve the nose structure of the vehicle model. They stated that wind deflectors, flow channels, chassis skirts, serrated surfaces, separator plates, and spoilers are effective in reducing the basic drag force. Geometry with a symmetrical axis usually has a blunt base, and the corresponding base drag usually accounts for a significant portion of the total drag.

Delaying the separation of the flow structure by surface modification is another passive flow control method. In such a study, Yanqing et al., 2023 applied grooves and protrusions on the protective helmet and examined the effect of this method on the  $C_D$  coefficient numerically and experimentally. By protruding from the surface, the features make the laminar flow turbulent, allowing the flow to cling to the surface more, and this delays the separation of the flow and improves the pressure-induced drag force. In the study, they achieved an aerodynamic reduction of up to 7%. Some devices that enable the flow around an object moving in the air to be used for various purposes by directing it are flow control parts inherent in some living things. The aerodynamic features of bird wings and the benefits they bring to the lives of birds have attracted the attention of researchers throughout history, and these aerodynamic features have been used on many vehicles produced for the benefit of humanity. These features are primarily used in aviation, space vehicles, and weapon systems. They were initially developed regarding the geometry and aerodynamics of the wing profiles and diversified to meet different targets. Afterward, the desired features were further developed with passive flow control methods. These methods, which are used today to reduce vehicle fuel consumption, have brought positive results in environmental and economic fields. It has positive effects, reducing flow separation into the flow around the vehicle, reducing the  $C_D$  coefficient, and reducing noise. Wing application, one of the systems to reduce drag force, was introduced and allowed in Formula 1 in 2011. In this study, a spoiler was developed with inspiration from an eagle while soaring to minimize the drag acting on a ground vehicle model. It was installed on the vehicle model roof area. It is aimed to reduce the aerodynamic drag coefficient by reducing flow separation with this spoiler model. This study aims to contribute to the literature by experimentally determining the delay of flow separation in ground vehicles and the effect of this situation on the aerodynamic drag coefficient and fuel consumption.



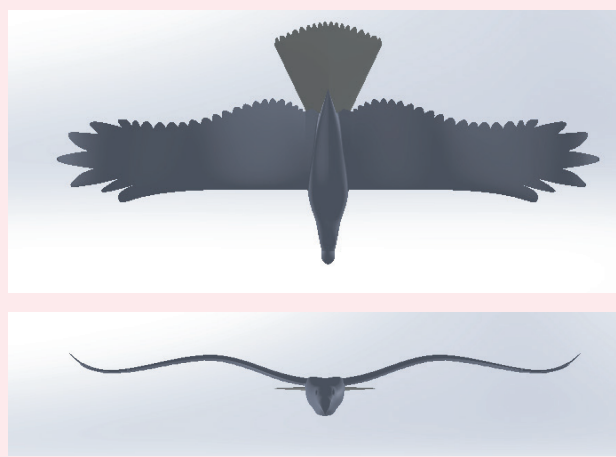
## 2. Material and Methods

The flow characteristics and aerodynamic values of the base model test vehicle used in this study were deter-

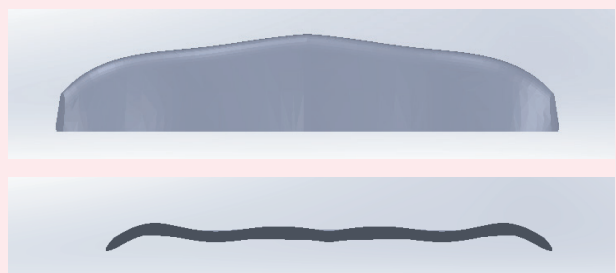


mined experimentally and numerically by Bayindirli and Celik, 2022. This study includes the optimization of the test model vehicle in terms of aerodynamics. The drawings of the vehicle model in the SolidWorks® CAD program is given in Figure 1, and the produced test model in the 3-D printer is given in Figure 2. The test model has a width of 118.3 mm, a height of 151.8 mm, and a length of 295 mm.

In this study, the spoiler model was developed by the wings of an eagle while soaring (Figure 3). The shape of the eagle's wings during soaring is such that it provides minimum drag force and maximum lift force. In this study, the wing structure of the eagle was taken as a basis, and a design change was made to ensure that the flow was held on the vehicle's roof surface. The SolidWorks® drawing of the spoiler model developed to control flow separation is given in Figure 4.



**Figure 3.** Wing structure and SolidWorks® drawing of the inspired eagle model during soaring



**Figure 4.** SolidWorks® drawing of the spoiler model

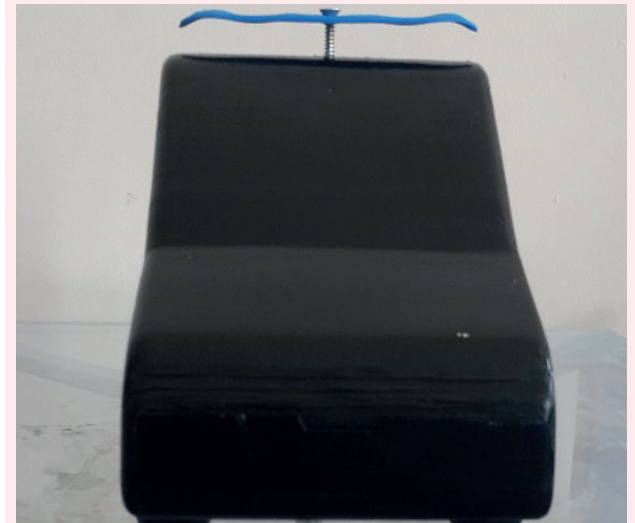
The spoiler assembly on test model 1 and model 2 are given in Figure 5 and Figure 6. The spoiler model was positioned on the front roof section of the vehicle at a height of 0.1 and 0.05 (L/H), and the effect of this flow control on the drag force was experimentally examined.

### 2.1. Providing of Similarity Conditions

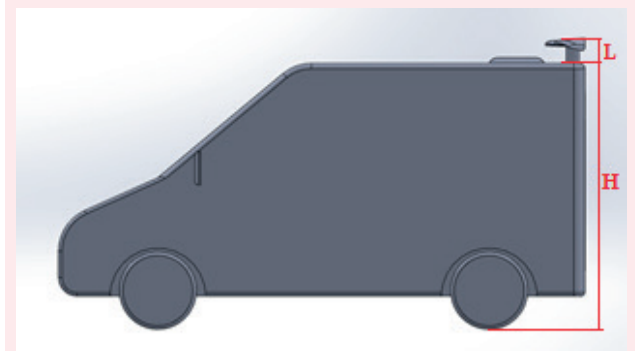
In aerodynamic studies, geometric, kinematic, and dynamic have to be provided between the prototype and model vehicles. In this study, the vehicle model and spoiler



**Figure 5.** Test model 1 and front spoiler application



**Figure 6.** Test model 2 and middle spoiler application



**Figure 7.** L-H heights on the test model

er were designed in a CAD program and they were produced in a 3D printer using that CAD drawing data. So, the similarity of the geometric condition is met, excluding minor surface errors. To ensure kinematic similarity in aerodynamic studies, the blockage rate must be lower than 7.5% (Çengel, and Cimbal, 2008 and Yadav et al., 2014). The front area of the vehicle model is 0.01796 m<sup>2</sup>, the frontal area of the wind tunnel's test section is 0.3364 m<sup>2</sup>, and the blockage rate is 5.34%. To ensure dynamic

similarity, Re independence was used in tests.

## 2.2. Uncertainty Analysis

The uncertainty of experimental studies depends on the calibration of test devices. In this study, the uncertainty analysis results the calculated by using related parameters between Equations 1-3 (Bayindirli, et al., 2020).

$$u_{Re} = \frac{w_{Re}}{Re} = \left[ (u_p)^2 + (u_{P_{pitot}})^2 + (u_H)^2 + (u_\mu)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$u_{FD} = \frac{w_{FD}}{F_D} = \left[ \left( \frac{w_{X_1}}{X_1} \right)^2 + \left( \frac{w_{X_2}}{X_2} \right)^2 + \left( \frac{w_{X_3}}{X_3} \right)^2 + \left( \frac{w_{X_4}}{X_4} \right) \left( \frac{w_{X_4}}{X_4} \right) + \left( \frac{w_{X_5}}{X_5} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$u_{C_D} = \frac{w_{C_D}}{C_D} = \left[ (u_{F_D})^2 + (u_p)^2 + 4(u_{P_{pitot}})^2 + (u_{A_{\perp}})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

**Table1.** Uncertainty values of aerodynamic values Bayindirli et al (2020)

Parameter	Uncertainty value (±%)
Reynolds number	3.87
Drag force	4.5
Drag coefficient	4.7

## 2.3. Experimental Setup

Experimental studies were conducted in the suction-type wind tunnel in the Fluid Mechanics Laboratory of Nigde Omer Halisdemir University Engineering Faculty. The test area of the wind tunnel has dimensions of 400x400x1000 mm and a square cross-section. An axial electro fan provides the desired free-flow speed in the test area. This fan has a power of 4 kW and a diameter of 700 mm. A frequency inverter with a 0.1 Hz step and operating in the 0-50 Hz range is used for this electro fan's desired speed adjustment. In the wind tunnel shown in Figure 8, the maximum free flow speed is 30 m/s, and the turbulence intensity is below 1% (Bayindirli and Celik, 2023).

A big part of the total drag force of ground vehicles depends on pressure. Pressure-induced drag force occurs due to the pressure distribution affecting the surface components of the object perpendicular to the flow. The friction-induced drag force occurs due to the shear stress acting on the surface components of the object parallel to the flow. Since drag force is expressed depending on density, speed, and area, the dimensionless coefficient by which these can be expressed dimensionless is defined as the aerodynamic resistance coefficient ( $C_D$ ). The aerodynamic resistance coefficient obtained in this study includes the sum of pressure and friction-induced drag forces and was measured using a load cell. A six-axis ATI load cell was used to measure the total drag forces acting on the model vehicle. The load cell can precisely measure the forces and moments applied to the axes of x, y, and z. The  $C_D$  coefficient is given in Eq. 4 and is a function of the air density ( $\rho$ ), drag force ( $F_D$ ), wind tunnel free flow speed ( $V$ ), and vehicle front surface area ( $A$ ) parameters.

$$C_D = \frac{F_{Net}}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * A} \quad (4)$$

Here;

$\rho$  = Density [kg/m<sup>3</sup>]

$V$  = Free flow speed [m/s]

$A$  = Front view area of the vehicle [m<sup>2</sup>]

$F_{Net}$  = Net drag force acting on the vehicle [N]

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Drag Reduction in Model 1 (L/H=0,1)

The drag coefficient value of the test model was determined as 0.482 on averages by Bayindirli and Celik,



**Figure 8.** Suction-type wind tunnel and testing equipment

2022. Wind tunnel tests were carried out at four different Reynolds numbers to determine the effect of this passive flow control part on drag force. As seen in Table 2, a 3.93% improvement in the aerodynamic drag coefficient was achieved according to the base model. When the flow images around the basic vehicle model are examined using the smoke method in Figure 9, it has been determined that this spoiler application can delay the flow separation, which is the reason for the aerodynamic improvement.

### 3.2. Drag Reduction in Model 2 (L/H=0,05)

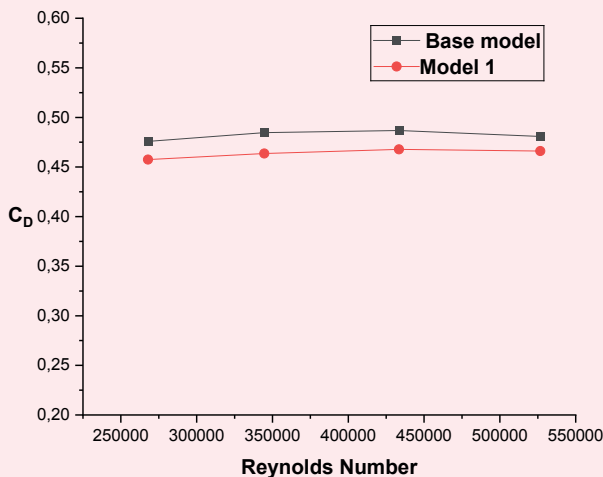
The same spoiler model is mounted on the vehicle's upper roof area in this test model. The distance of the spoiler to the vehicle body is 5% of the vehicle height. Positioning the spoiler in this area provided an aerodynamic improvement. However, the decrease in flow separation was less than in model 1. The average reduction in the resulting drag coefficient was 2.86%.

**Table 2.** Comparison of Base model - Model 1  $C_D$  Coefficient (L/H=0,1)

Reynolds Number	Flow speed (m/s)	Base Model $C_D$	Model 1 $C_D$	Drag Reduction Rate
267915	14.17	0.476	0.458	5.34%
344594	18.22	0.485	0.464	3.97%
433434	22.92	0.487	0.468	3.04%
526656	27.85	0.481	0.466	3.40%
Average		0.482	0.464	3.93%

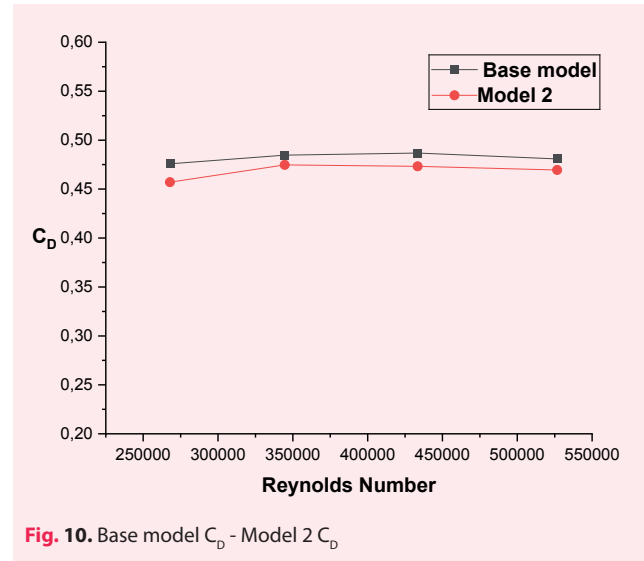
**Table 3.** Comparison of Base model - Model 2  $C_D$  Coefficient (L/H=0,05)

Reynolds Number	Flow speed (m/s)	Base Model $C_D$	Model 2 $C_D$	Drag Reduction Rate
267915	14.17	0.476	0.457	5.47%
344594	18.22	0.485	0.475	1.54%
433434	22.92	0.487	0.473	1.84%
526656	27.85	0.481	0.469	2.67%
Average		0.482	0.469	2.86%

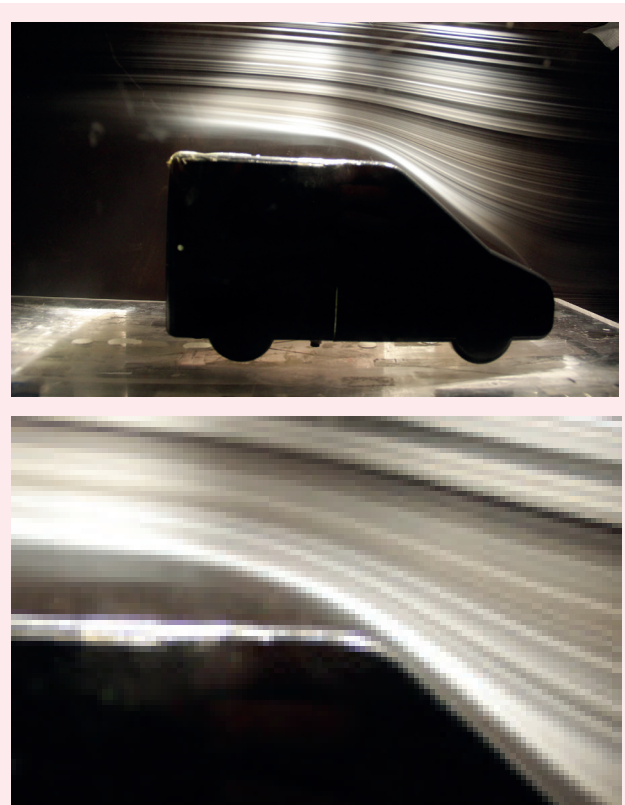


**Figure 9.** Base model  $C_D$  - Model 1  $C_D$

In this study, the flow separation seen in Figure 9 was tried to be reduced with the spoiler application in the eagle wing profile used. The spoiler was installed at a distance of 5% of the vehicle height from the front and middle roof area, flow direction was provided, and the flow was kept more in the upper roof area of the vehicle. In this case, pressure aerodynamic improvement was achieved by reducing the negative pressure zone. One of the factors in achieving this situation is the blunt-body of the model vehicle. The blunt body structure creates a large negative pressure region behind the vehicle, creating pressure-induced aerodynamic resistance. Approx-



**Fig. 10.** Base model  $C_D$  - Model 2  $C_D$



**Figure 11.** Flow image around the base vehicle model and detection of flow separation

imately 90-95% of ground vehicle's total aerodynamic drag coefficient consists of pressure-induced drag force (Çiftçi et al., 2023). Spoiler applications in model 1 and model 2 reduced and delayed flow separation. This situation positively affected the pressure-induced total drag force, and the vehicle model was improved in terms of aerodynamics.

## 4. Conclusions

In this study, the  $C_D$  coefficient was improved by using a spoiler model designed to reduce and delay the flow separation to the front roof area of a 1/15 scale model vehicle. The study met primary similarity conditions, and aerodynamic flow tests were carried out at four different free flow speeds using Reynolds number independence. The  $C_D$  coefficient was improved by 3.93% and 2.86% by this passive flow control method without consuming any energy on the vehicle. As a result of this study, the positive effect of maintaining flow separation in the roof area in terms of aerodynamics was determined and presented in the literature.

## Authorship contribution statement for Contributor Roles Taxonomy

Cihan Bayındırlı: Writing - original draft, Investigation, Visualization, Supervision, Conceptualization, Method-

ology, Software, Formal analysis.

Mehmet Çelik: Investigation, Supervision, Writing – review & editing.

## Conflict of interest

The author(s) declares that he has no conflict of interest.

## Abbreviations

<b>A</b>	Vehicle front area, $m^2$
<b><math>C_D</math></b>	Aerodynamic drag coefficient
<b><math>F_D</math></b>	Drag force, N
<b><math>u_\infty</math></b>	Free flow velocity, m/s
<b>Re</b>	Reynolds number
<b><math>\nu</math></b>	Kinematic viscosity, $m^2/s$
<b>CFD</b>	Computational fluid dynamics
<b>Exp.</b>	Experimental
<b>CAD</b>	Computer-aided design
<b>PFC</b>	Passive flow control
<b>VG</b>	Vortex generator
<b>L</b>	Distance between spoiler and vehicle roof, m
<b>H</b>	Height of model vehicle, m

## Orcid

Cihan Bayındırlı  <https://orcid.org/0000-0001-9199-9670>

Mehmet Celik  <https://orcid.org/0000-0002-3390-1716>

## References

- Aftab, S. M. A., Rafie, A. S. M., Razak, N. A., & Ahmad, K. A. (2016). Turbulence model selection for low Reynolds number flows. *PLoS ONE*, 11(4), e0153755. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153755>
- Bayındırlı, C., Akansu, Y. E., & Celik, M. (2020). Experimental and numerical studies on improvement of drag force of a bus model using different spoiler models. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 27(6), 743-776.
- Bayındırlı, C., & Celik, M. (2018). Bir minübüs modeli etrafındaki akış yapısının CFD yöntemi ile incelenmesi. In *IV International Academic Research Congress* (pp. 30 October-3 November). Antalya, Türkiye.
- Bayındırlı, C., & Celik, M. (2022). Experimental optimization of aerodynamic drag coefficient of a minibus model with non-smooth surface plate application. *Journal of Engineering Studies and Research*, 28(4), 23-29. <https://doi.org/10.29081/jesr.v28i3.004>
- Bayındırlı, C., & Celik, M. (2023, September 15-17). The experimentally improving of drag coefficient of a minibus model with wing-shaped spoiler model. In *5th International Turkic World Congress on Science and Engineering*. Bişkek, Kirgızistan.
- Bhatnagar, U. R. (2014). *Formula 1 race car performance improvement by optimization of the aerodynamic relationship between the front and rear wings* (Master's thesis). The Pennsylvania State University.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2008). *Fundamentals of fluid mechanics and applications*. Güven Bilimsel.
- Çiftçi, H., Bayındırlı, C., & Örs, İ. (2023). Experimental investigation of spoiler application in an SUV-type vehicle. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 10(1), 1-5.
- Kajiwaru, S. (2017). Passive variable rear-wing aerodynamics of an open-wheel racing car. *Automotive and Engine Technology*, 2, 107-117. <https://doi.org/10.1007/s41104-017-0021-9>
- Kishore, K. S., Pendyala, S., & Dwivedi, Y. D. (2022). A review on base drag reduction methods. *Graduate Research in Engineering and Technology (GRET)*, 1(5), 52-60. <https://doi.org/10.47893/GRET.2022.1073>
- Langtry, R. B., & Menter, F. R. (2009). Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes. *AIAA Journal*, 47(12).
- McBeath, S. (2006). *Competition car aerodynamics: A practical handbook*. Haynes Publishing.
- Palanivendhan, M., Chandradass, J., Saravanan, C., Philip, J., & Sharan, R. (2021). Reduction in aerodynamic drag acting on a commercial vehicle by using a dimpled surface. *Materials Today: Proceedings*, 45, 7072-7078.
- Smith, A. (1974, August 12-14). High-lift aerodynamics 37th Wright Brothers Lecture. In *Proceedings of the 6th Aircraft Design, Flight Test and Operations Meeting* (Vol. 12). Los Angeles, CA, USA. <https://doi.org/10.2514/6.1974-939>
- Wood, R. M., & Bauer, S. X. S. (2003). Simple and low-cost aerodynamic drag reduction devices for tractor-trailer trucks. *SAE Technical Paper*, 01(3377), 1-18.
- Wordley, S., McArthur, D., Phersson, L., Tudball Smith, D., & Burton, D. (2014, December 8-11). Development of a drag reduction system (DRS) for multi-element race car wings. In *Proceedings of the 19th Australasian Fluid Mechanics Conference, AFMC*



2014. Melbourne, Australia.

Yadav, R., Islam, A., & Chaturvedi, R. (2021). Efficient reduction of the consumption of fuel in road vehicles using aerodynamic behavior in CFD analysis. *Materials Today: Proceedings*, 45, 2773-2776.

Yanqing, W., Ding, W., Yuju, W., Yuan, M., Lei, C., & Jiadao, W. (2023). Aerodynamic drag reduction on speed skating helmet by surface structures. *Applied Sciences*, 13(130), Article 130. <https://doi.org/10.3390/app13010130>