

# Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi

## International Journal of Technological Sciences

Sahibi / Owner  
Ali Kemal YAKUT

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager  
Reşat SELBAŞ

Editör / Editor in Chief  
Nihat YILMAZ

Yardımcı Editörler / Vice Editors  
Önder KIZILKAN  
Ergün KORKMAZ

Alan Editörleri/Associate Editors

Abdullah ÖZSOY  
Cengiz ÖZEL  
Okan BİNGÖL  
İsmail Serkan ÜNCÜ  
Fatih YILMAZ

Editör Kurulu / Editorial Board

Ali Kemal YAKUT  
Reşat SELBAŞ  
Arzu ŞENCAN ŞAHİN  
Bekir YALÇIN  
Ahmet KABUL

Yayın Danışma Kurulu/Editorial Advisory Board

Hiroshi YAMAGUCHI, Doshisha University, Japan  
İbrahim DİNÇER, Ontario Tech University, Canada  
Mustafa ACAROĞLU, Konya Teknik Üniversitesi, Turkey  
Mustafa Reşit USAL, Süleyman Demirel Üniversitesi, Turkey  
Ramazan KÖSEOĞLU, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Turkey  
Refik KAYALI, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Turkey  
Bekir YALÇIN, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Turkey  
Özlem TERZİ, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Turkey

Mustafa AY, Marmara Üniversitesi, Turkey  
Şemsettin KILINÇARSLAN, Süleyman Demirel Üniversitesi, Turkey  
Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE, Süleyman Demirel Üniversitesi, Turkey  
Ömer Necati CORA, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Turkey  
Mehmet Akif EZAN, Dokuz Eylül Üniversitesi, Turkey  
Nabi İBADOV, Warsaw University of Technology, Poland  
Murat Öztürk, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Turkey

Grafik Tasarım / Graphic Design  
Sinan İLKAZ

Teknik Sorumlulu / Technical Manager  
Serap ERGÜN  
Nejat TÜKENMEZ

Mizanpaj / Make-up  
Serpil ÇELİK TOKER

Dergi Adresi / Journal Address

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi Editörlüğü  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
Teknoloji Fakültesi  
32260, Batı Kampüsü, Isparta, Türkiye  
Tel: +90 246 2111569  
Fax : +90 246 2111984  
E-posta/E-mail: [utbd@isparta.edu.tr](mailto:utbd@isparta.edu.tr)

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi tarafından yılda 3 sayı elektronik olarak yayınlanmaktadır.  
International Journal of Technological Sciences is published three times a year electronically by Isparta University of Applied Sciences.

Cilt / Volume: 13

Sayı/Number: 2

Ağustos/August 2021

e - ISSN : 1309-1220



**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

**Sayfa No**

**Araştırma Makalesi**

- ORB yöntemi ile oy tespiti ve sayımını gerçekleştiren sistemin tasarımı**  
Design of the system that performs vote detection and counting by ORB method ..... 50-56  
İsmail Serkan ÜNCÜ, Mehmet KAYAKUŞ, Sefa ÇETİNKOL
- Farklı tork değerleri altında kardan mili istavroz dayanımının sonlu elemanlar ve analitik yöntem ile belirlenmesi ve kıyaslanması**  
Determination and comparison of the strength of the universal joint on driveshaft for various torque values, by finite element analysis and analytical method ..... 57-61  
Mert Can KAHYALAR, Onur ŞEN, Tülay NAYİR
- Ekleme imalat yöntemiyle PLA malzemeden üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi**  
Investigation of mechanical properties of products produced from PLA material by additive manufacturing method... 62-68  
Ömer KARABIYIK, Kenan APAK
- İki tekerlekli denge araçları için geri beslemeli doğrusallaştırma tabanlı denetleyici tasarımı**  
With feedback linearization based controller design for two wheeled stability vehicles ..... 69-80  
Emrah UZUN, Okan BİNGÖL
- Derleme Makale**
- Türkiye’de eğitim alanında yapılan veri madenciliği ve yapay zekâ çalışmaları**  
Data mining and artificial intelligence studies in the field of education in Turkey ..... 81-89  
Emine ARUĞASLAN, Hanife ÇİVRİL

Orijinal Makale/Research Article

## ORB yöntemi ile oy tespiti ve sayımını gerçekleştiren sistemin tasarımı

İsmail Serkan Üncü<sup>1</sup>, Mehmet Kayakuş<sup>2</sup>, Sefa Çetinkol<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Akdeniz Üniversitesi, Manavgat Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, İşletme Enformatiği Bölümü, 07600, Antalya, Türkiye

<sup>3</sup>Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 41400, Kocaeli, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Oy tespiti ve sayımı  
Görüntü işleme  
ORB  
Brute-Force Eşleştirme

### Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 25.11.2020  
Kabul Tarihi: 15.09.2021

**Öz:** Bu çalışmada, oy tespitini ve sayımını gerçekleştiren görüntü işleme tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Sistem, donanımsal ve yazılımsal olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Görüntü almak için kullanılan kamera ve görüntü işlemek için kullanılan Raspberry Pi3 donanım kısmını oluşturmaktadır. Yazılım kısmında ise görüntü işleme yöntemlerinden olan Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB) metodu ile Brute-Force Eşleştirme kullanılarak görüntülerdeki öznitelikler eşleştirilmektedir. Yazılımın kodları Python programlama dilinde yazılmış olup ve OpenCV kütüphanesinden faydalanılmıştır. Çalışmada oy tespiti ve sayımı için 72 punto büyüklüğünde, Calibri yazı tipi ile yazılmış EVET ve HAYIR oy pusulaları kullanılmıştır. Sistemde yüksek çözünürlüklü kamera sayesinde oy pusulasının görüntüsü alınmakta ve görüntü işleme yazılımına aktarılmaktadır. Yazılımın çalışma mantığı, kayıtlı görüntüdeki köşe ve dönüm noktaları gibi ayırt edici özelliklerin belirlenmesi ve belirlenen özelliklerin, kamera tarafından çekilen görüntüler ile eşleştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Oyun kime verildiğinin tespiti için ise kullanılan oyun yatay düzlemindeki konumuna bakılmaktadır. Sistem eşleşen görüntüye göre evet ve hayır oy sayılarını arttırmaktadır. Yapılan çalışmada %100 başarı oranı ile oy tespiti ve sayımı gerçekleştirilmiştir.

### Atıf için/To Cite:

Üncü İS. Kayakuş M. Çetinkol S. ORB yöntemi ile oy tespiti ve sayımını gerçekleştiren sistemin tasarımı. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(2), 50-56, 2021.

## Design of the system that performs vote detection and counting by ORB method

### Keywords

Ballot detection and counting  
Image processing  
ORB  
Brute-Force Matching

### Article history:

Received: 25.11.2020  
Accepted: 15.09.2021

**Abstract:** In this study, an image processing-based system was developed that performs vote detection and counting. The system consists of two parts, hardware and software. The camera used for image capturing and Raspberry Pi3 used for image processing constitute the hardware part. In the software part of the system, the features in the images are matched using Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB) method and Brute-Force Matching method which are the image processing methods. The software's codes are written in the Python programming language and the OpenCV library is used. In the study, YES and NO ballots written in Calibri font, 72 points in size, were used for vote detection and counting. Thanks to the high-resolution camera in the system, the image of the ballot is taken and transferred to the image processing software. The operating logic of the software works according to the principle of determining the corners and milestones, which are distinctive features in the recorded image, and matching them with the images taken. In order to determine who the game was given to, the position of the game on the horizontal plane used is looked at. The system increases the number of yes and no votes according to the matching image. In the study, it is performed that vote determination and counting with a 100% success rate.

## 1. Giriş

Seçimler demokratikleşmenin temel gereksinimlerinden bir tanesidir. Seçimlerin doğru ve güvenilir yapılması ve kullanılan oyların doğru sayılması hem seçmen hem de aday için önem arz etmektedir. Günümüzde elektronik oy pusula cihazları kullanılmaya başlanmasına rağmen geleneksel kâğıt oy pusulaları da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir oy pusulası, seçim kimlik bilgilerini (seçim bölgesi, seçim tarihi, oy pusulası numarası, sayfa numarası), talimatları (bir aday seçmek veya oy kullanmak), adayların listesini (adayların isimleri ve parti üyeliğini) ve her oylama için işaretlenecek bir hedef dizisini içermektedir [1].

Kâğıt oy pusulalarının kullanımı seçimlere bağımsız denetim yetenekleri getirmektedir. Ancak güvenilir, doğrulanabilir, hızlı ve verimli seçimleri garanti etmemektedir. İlk oy pusulasında okuyucusu olarak optik işaret tanıma (OMR) ve ayrık fotosellere sahip oy algılama okuyucuları kullanılmıştır. Günümüzde hemen hemen tüm oy pusulaları artık CCD veya CMOS dizileri sahip olan optik tarayıcılar kullanmasına rağmen, birçok oy pusula tarayıcısı hala OMR'yi kullanmaktadır [2].

Özel bir form işleme türü olan oy işleme yöntemi seçimlerde oy sayımı için kullanılmaktadır. Bu yöntemde belirli yerlerde işaretlerin varlığının veya yokluğunun tespit edilmesini prensibine göre çalışmaktadır. Temel görevler, her bir işaretin bir adayla ilişkilendirilmesi ve oy pusulasını geçersiz kılacak yabancı işaretlerin tespit edilmesine göre çalışmaktadır. Bu sistemde karakter seçimine nadiren ihtiyaç duyulmaktadır; çünkü çoğu oylamada oy hakkının sayısı önemsizdir [3].

Kâğıt tabanlı seçim oylarının analizi, oylamaya eklenen tüm işaretlerin bulunmasını gerektirmektedir. Bu işaretlerin konumu, boyutu, şekli, dönüşümü ve gölgesi önceden bilinmemektedir. Taranan oy pusulası görüntülerinde tarayıcı görüntüsü nedeniyle temel oy pusulasından farklılıkları bulunmaktadır. Farklı görüntü işleme teknikleri, hangi koşullar altında hangi tür işaretleri tespit edebildiklerini görmek için değerlendirilmektedir. Bu yöntemde oy tespiti oy pusulası görüntülerinin ham görüntüden farkı prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde oy işaretlerinin koyuluğuna çok daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Ham görüntüleri ön plana ve arka plana dönüştürmenin ve ardından formu kaldırmanın daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır [4].

Kamera teknolojisi ve manuel beslemeli kâğıt kullanan oy pusula sayaçları, tarayıcı tabanlı sistemlere göre

daha güvenilir ve daha ucuzdur. Kameralarının örnekleme oranı, geometrik doğrusalılığı, nokta dağılımı ve fotometrik transfer fonksiyonu özellikleri oy pusulası görüntüleme daha kabul edilebilirdir. Geliştirilen kamera tabanlı oy sayım cihazı diğer tekniklere göre daha şeffaf, daha az maliyetli, taşınabilir, hızlı ve daha az sorunludur [5].

Optik tarama oylama sistemlerinde tarayıcıdan kaynaklı sorunlar oluşabilmekte ve bu sorunların tespit edilmesi ve çözülmesi güç olmaktadır. Bu sisteme alternatif olarak OpenScan olarak adlandırılan dijital video kayıtlarının bilgisayar görme teknikleriyle işlenmesiyle çalışan oy sayım sistemi geliştirilmiştir [6].

Bilgisayarla görme teknolojileri birçok alanda olduğu gibi oy sayımında da kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayarla görme teknolojileri günümüzde görüntüleri hızlı işlemekte, hızlı eşleştirmekte ve belleği verimli şekilde kullanmaktadır [7]. Nesne tanıma, robot teknolojisinde, görsel izleme ve insan algılama gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir [8]. Nesne tanıma teknolojileri temel olarak özellik noktaları tanımlayıcıları ve görüntü eşleştirme metotlarından oluşmaktadır. Özellik noktaları tanımlayıcıları nesne tanıma ve 3 boyutlu görüntüleri yeniden yapılandırma gibi birçok bilgisayarla görme teknolojisinin merkezinde yer almaktadır [7].

Nesne tanıma teknolojisinde metot olarak Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB), Scale Invariant Feature Transform (SIFT) ve Speeded Up Robust Features (SURF) yaygın olarak kullanılan metotlardır. Her bir metodun kullanımına bağlı olarak kendine özgün avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. SIFT anahtar nokta algılayıcısı ve tanımlayıcısı 2004 yılında David G. Lowe tarafından geliştirilmiştir [9]. SIFT algoritması nesne tanıma, görüntü birleştirme, görsel haritalama dahil olmak üzere görsel özellikleri kullanan bir dizi uygulamada başarılı bir şekilde kullanılmıştır [9-12]. Bununla birlikte, SIFT metodu özellikle zaman içerisinde konum değişikliğini tahmin etmek gibi gerçek zamanlı sistemler veya cep telefonları gibi düşük güçlü cihazlar için büyük bir hesaplama yükü getirmektedir [10]. SURF metodu herhangi özel bir optimizasyon kullanılmadan ve performans kaybı olmadan gerçek zamanlı bir hesaplama imkânı sunmaktadır. Bu da birçok çevrimiçi bilgisayar görme uygulaması için önemli bir avantaj sağlamaktadır [13].

ORB, Ethan Rublee tarafından 2011'de ortaya konan nesnelere özelliklerini çıkarma ve tanımlama için kullanılan bir hesaplama algoritmasıdır [10]. ORB, FAST anahtar nokta algılayıcısı ve BRIEF tanımlayıcısını kullanmaktadır. Hem FAST anahtar noktası algılayıcı hem de BRIEF tanımlayıcı daha iyi performans ve düşük maliyete sahip oldukları için oldukça

kullanışlıdır [14]. Herhangi bir donanım gereksinimi olmadan hız üstünlüğünden dolayı ortamda hareketli nesnelere algılamak içinde kullanışlıdır [15, 16]. Birçok nesne tanıma metodu yerel özellik çıkarma ve eşleştirme işleminde gerekli olan ağır iş yükü nedeniyle hesaplama açısından kullanımı zordur. ORB, bilgisayarla görme uygulamalar için yüksek performans ve düşük karmaşıklık gerektiren bir çözüm sunmaktadır [14]. Ayrıca ORB algoritması görüntü üzerindeki gürültüye karşıda dayanıklıdır [17]. ORB birçok endüstri uygulamasında kullanılmaktadır. YEH ve arkadaşları insansız hava aracı (İHA) görüntülerinden nesne tespiti için diğer metotlara göre daha hızlı ve doğru sonuçlar ürettiği için ORB yöntemini kullanmışlardır [18]. Bir başka uygulamada bitkilerin tanımlanmasını ve sınıflandırmasını için yüksek doğruluk oranı ve mobil (Android işletim sistemi) uygulamalarda gerçek zamanlı ölçüm başarısından dolayı ORB algoritması tercih edilmiştir [19]. Kolomenkin ve arkadaşları kamera ile çekilmiş bir görüntüdeki yıldızları yıldız kataloğundaki yıldızlarla eşleştirmek için ORB yöntemini kullanmışlardır [20].

Çalışmanın yazılım bölümü Python programlama dilinde hazırlanmış olup ve OpenCV kütüphanesinden faydalanılmıştır. Oy pusulalarındaki oyların sayımı işlemini gerçekleştirmek için görüntü eşleştirme aşamasında görüntü işleme yöntemlerinden ORB metodu ve Brute-Force Matching algoritması kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucu %100 başarı ile oy tespiti ve sayımı gerçekleşmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma donanım ve yazılım olmak üzere iki temel sistemden oluşmaktadır. Donanım bölümünde görüntünün alınmasını, aktarılması sağlayan aynı zamanda yazılımın yüklü olduğu elektronik devre bulunmaktadır. Yazılım aşamasında ise alınan görüntüler işlenmekte ve görüntülerde bulunan öznelik eşleştirilmesi yapılmaktadır.

### 2.1. Donanımsal sistem

Sistemin donanımsal çalışma mekanizması kamera ve Raspberry Pi 3'ten oluşmaktadır. Sistemde kullanılan kamerayla oy pusulasının belirlenen standartlarda görüntüsünü alınmaktadır. Kamera Raspberry Pi 3 ile uyumlu ve yüksek çözünürlüğe (1920x1080) sahiptir.

Raspberry Pi 3, çalışmada görüntünün işlenmesi ve yazılım işlemlerin gerçekleştirilmesi için kullanılmaktadır. Python programlama dili ile programlama ve PIN kontrolleri gerçekleştirilmektedir. Yazılımda görüntü işleme teknikleri için güçlü komutlarından dolayı OpenCV kütüphanesinden faydalanılmaktadır.

### 2.2. Yazılımsal sistem

Bu çalışmada önemli noktaların tespit edilmesinde ORB (Yönlendirilmiş FAST ve Döndürülmüş) metodu kullanılmaktadır. Tespit edilen önemli noktaların karşılaştırılmasında ise Brute-Force Eşleştirmesi (BF Matching) yönteminden faydalanılmıştır.

#### 2.2.1. Yönlendirilmiş FAST ve Döndürülmüş BRIEF (Oriented FAST and Rotated BRIEF -ORB)

Yönlendirilmiş FAST ve döndürülmüş BRIEF (ORB), Ethan Rublee ve arkadaşları tarafından 2011 yılında geliştirilmiştir. Öznelik çıkarmada hızlı ve etkili olan ORB, gelişmiş performans göstermesi için bazı değişiklikler yapılan FAST anahtar nokta algılayıcı ve BRIEF anahtar nokta tanımlayıcı birleşiminden oluşmaktadır. FAST algoritmasına yönlendirme özelliği ve BRIEF algoritmasına ise döndürme özelliği eklenmesi yapılan en önemli ayarlamalardandır.

Görüntülerde, öznelikler (anahtar nokta) olarak adlandırılan belirgin ve ayırt edici olan yerler bulunmaktadır. Bu yerlerin piksel değerlerinde ani ve keskin değişim meydana gelmektedir. Bir nesnenin köşe noktaları buna örnek olarak verilebilir.

ORB algoritmasında görüntüde ilk olarak piramit yöntemi uygulanmaktadır. Piramit yöntemi sayesinde görüntünün farklı ölçekleri elde edilmektedir. Ölçeklenen görüntülere FAST algoritması uygulanarak görüntülerdeki anahtar noktalar tespit edilmektedir. Bulunan anahtar noktalara Harris köşe bulma algoritması uygulanmakta ve böylece anahtar noktalar sıralanmaktadır. Bunlardan en belirgin öznelikleri temsil eden N tane anahtar nokta seçilmektedir.

Seçilen anahtar noktalara, yoğunluk (parlaklık) ağırlık merkezi algoritması uygulanmakta; böylece anahtar noktaların dönmeden etkilenmesinin önüne geçilmektedir. Dönmeden bağımsız olması için görüntüden çeşitli parçalar alınmakta ve bu parçalarda yer alan anahtar noktaların momentleri bulunmaktadır. Bu işlem Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x, y) \quad 1$$

Eşitlik 1'de x ve y parametreleri piksel koordinatları için, I(x, y) ise görüntünün (x, y) koordinatındaki piksel değerini göstermek için kullanılmıştır. Eşitlikte p kuvveti x değerini ve q kuvveti ise y değerini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Kütlelerin merkezini bulmak için Eşitlik 2 kullanılmıştır.

$$C = \left( \frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \quad 2$$

Eşitlikte  $m_{10}$  x yönündeki yoğunluk (parlaklık) değeri,  $m_{01}$  y yönündeki yoğunluk değeri ve  $m_{00}$  ise toplam yoğunluk değeri için kullanılmaktadır.

Köşe noktasından kütle merkezine bir vektör oluşturulmaktadır. Oluşturulan vektörün yönü ise Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\theta = \text{atan2}(m_{01}/m_{10}) \quad 3$$

Eşitlikte  $\theta$  vektör yönünün (yönlendirme açısının) hesaplanması için arctanjant2 (atan2) işlemi uygulanmaktadır. Atan2 hesaplamasında açının bulunduğu bölge de işleme dahil edilmektedir.

Eşitlik 1, 2 ve 3'ün kullanılması ile parçadaki anahtar noktaların dönmeden etkilenmemesi sağlanmıştır.  $\theta$  değeri hesaplandıktan sonra döndürülen parçada bulunan tanımlayıcılar hesaplanmaktadır. Bu işlem için anahtar nokta tanımlayıcısı olan BRIEF algoritması kullanılmaktadır.

BRIEF algoritması kullanılarak anahtar noktaların tanımlayıcıları hesaplanmaktadır. Bundan dolayı BRIEF algoritması, anahtar noktaları tespit etmeye yarayan FAST gibi algoritmalar ile kullanılması gerekmektedir.

BRIEF algoritmasında SxS boyutlarında görüntüden bir parça almaktadır. Alınan parçaya filtreleme uygulanarak parçadaki piksellerin yumuşatılması sağlanır. Yumuşatılan piksel değerleri birbiriyle karşılaştırılmaktadır. Daha sonra binary test  $\tau$  gerçekleştirilir. Bu işlem Eşitlik 4'te gösterilmiştir.

$$\tau(p; x, y) = \begin{cases} 1 & : p(x) < p(y) \\ 0 & : p(x) \geq p(y) \end{cases} \quad 4$$

Eşitlikte parça p, parçanın x noktasındaki yoğunluğu  $p(x)$ , parçanın y noktasındaki yoğunluğu  $p(y)$  ve binary test ise  $\tau$  ile ifade edilmiştir. Eşitlikte x noktasının parlaklığı, y noktasının parlaklığından az ise binary test sonucu 1, diğer durumlarda ise binary test sonucu olarak 0 kabul edilir.

Özellik (öznitelik) f, n adet binary testten oluşan bir vektör olarak tanımlanmaktadır. Öznitelik vektörünün bulunması için Gauss dağılımı yöntemi parçanın merkezi etrafında uygulanmaktadır ve Eşitlik 5'te gösterilmiştir.

$$f_n(p) = \sum_{1 \leq i \leq n} 2^{i-1} \tau(p; x_i, y_i) \quad 5$$

Vektör uzunluğu olarak  $n = 256$  seçilmiştir. Eşitlik 4 ve 5'in kullanılmasıyla binary test yapılarak öznitelik vektörü bulunmaktadır.

BRIEF algoritması, döndürme düzleminden bağımsız olması yani etkilenmemesi istenmektedir. Çünkü BRIEF algoritmasında birkaç dereceden fazla döndürme gerçekleşirse, algoritma iyi sonuç vermeyecektir. Bunu önlemek için anahtar nokta yönlendirmesine göre BRIEF algoritmasının da yönlendirilmesi gerekmektedir.

$(x_i, y_i)$  noktalarında yer alan herhangi bir öznitelik vektöründeki binary test için,  $2 \times n$  matrisi tanımlanmaktadır. Tanımlanan matris, Eşitlik 6'da gösterilmiştir.

$$S = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_i \\ y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_i \end{pmatrix} \quad 6$$

Eşitlik 7'de parça yönlendirme açısı  $\theta$  kullanılarak döndürme matrisi olan  $R_\theta$ 'nin bulunması gösterilmiştir.

$$R_\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad 7$$

$R_\theta$  döndürme matrisi ve S binary test matrisi kullanılarak  $S_\theta$  yönlendirme matrisi Eşitlik 8'de gösterildiği gibi bulunur.

$$S_\theta = R_\theta S \quad 8$$

Yönlendirme açısı  $\theta$  değişmediği sürece anahtar nokta tanımlayıcı hesaplanmasında  $S_\theta$  matrisi kullanılmaktadır. Bu sayede görüntüde bulunan öznitelik tanımlayıcıları elde edilmektedir. Bu tanımlayıcılar, BF eşleştirme metodunda kullanılarak eşleşen anahtar noktalar tespit edilmektedir.

### 2.2.2. Brute-Force Eşleştirmesi (BF Matching)

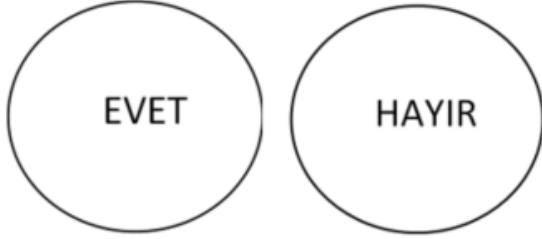
Brute-Force Eşleştirmesi (BF Matching) iki görüntüde bulunan tanımlayıcı temel verileri kullanarak eşleştirmeyi gerçekleştirmektedir. Eşleştirme uygulamasından önce, bir dizi segment ve etiketli değer elde edilmelidir [21]. Birinci görüntüden gelen tanımlayıcı noktalar ile ikinci görüntüden gelen tanımlayıcı noktalar işleme alınır. Bu tanımlayıcı noktalar arasındaki istenilen uzaklık ayarlanarak hesaplama yapılmakta ve böylece tanımlayıcı noktaların eşleştirilmesi gerçekleştirilmektedir.

Bu tekniğin gücü, yeterince veri verildiğinde yüksek olasılıkla en yakın komşuları alma yeteneğinin olmasıdır [10]. Bu algoritmayı ayarlamak için gereken parametrelerin diğer algoritmalara göre daha az olması nedeniyle çeşitli avantajlara sahiptir. Bir kümeleme algoritmasına ve bunların parametrelerinin seçilmesine ihtiyaç yoktur ve yine çok az parametre ile eşleştirme yapılabilir [22]. Kaba kuvvet eşleşmesi, genellikle sadece en yakın komşuları veren çok daha

verimli yaklaşımların aksine, bir sorgu için en yakın komşuyu bulmayı da garanti etmektedir [23].

### 3. Uygulama

Sistemde iki çeşit oy tespiti yapabilmektedir: Birincisi evet ve hayır oylarının tespiti; diğeri oyun kime verildiğinin tespit edilmesi ve sayımının yapılmasıdır. Birinci kısım için sistemde kayıtlı olarak bulunan 'EVET' ve 'HAYIR' oyları mevcuttur. Evet ve hayır oyları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sistemde kayıtlı evet ve hayır oyları

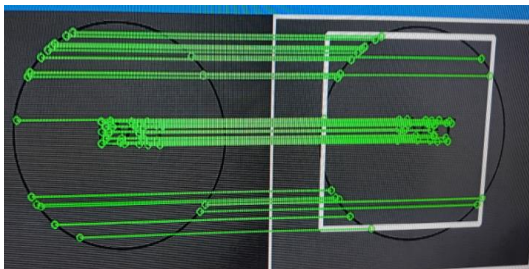
Oy pusulası kameranın önüne geldiğinde görüntü alma işlemi gerçekleşmektedir. Sistem kameranın yakaladığı görüntü ile sistemde kayıtlı görüntüleri karşılaştırmaktadır. Karşılaştırma yapmak için tüm görüntülerin tanımlayıcı noktaları tespit edilmektedir. Çekilen görüntünün, kayıtlı görüntülerden hangisi ile eşleşen nokta sayısı fazla ise sistem eşleşmeyi o görüntüye atmakta ve sayısını bir arttırmaktadır.

Şekil 2'de evet ve hayır oylarının sistemde kayıtlı oylar ile eşleşen noktalarının çizilmiş sınırları görülmektedir.

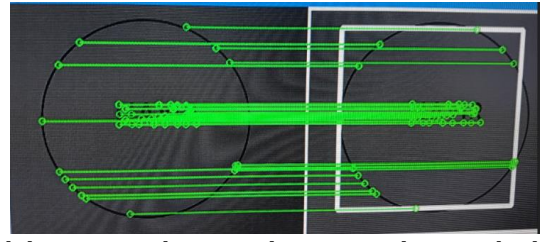


Şekil 2. Evet ve hayır oy sınırlarının belirlenmesi

Şekil 3'te sistemden kayıtlı evet oyu ile görüntüsü alınan evet oyunun karşılaştırılması ve eşleşen 73 noktası görülmektedir Şekil 4'te sistemden kayıtlı hayır oyu ile görüntüsü alınan hayır oyunun karşılaştırılması ve eşleşen 73 noktası gösterilmiştir.

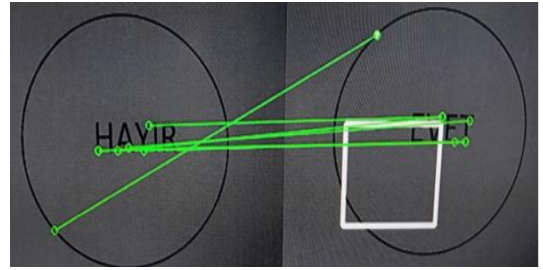


Şekil 3. Evet oylarının eşleşen tanımlayıcı noktaları



Şekil 4. Hayır oylarının eşleşen tanımlayıcı noktaları

Evet ile hayır oylarının eşleşen tanımlayıcı noktaları Şekil 5'te gösterilmiştir. İki görüntü arasında 7 eşleşme noktası bulunmaktadır. Temel eşleşen nokta sayısının az olmasından dolayı görüntülerin sınıflandırılması konusunda sorun teşkil etmemektedir.



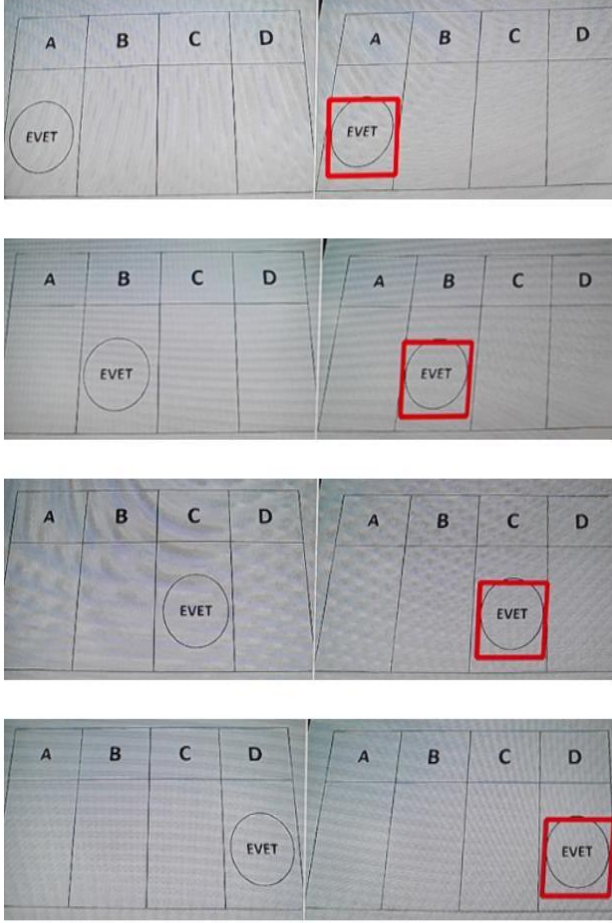
Şekil 5. Evet ile hayır oyu arasında eşleşen tanımlayıcı noktalar

Şekil 6'daki görüntüler ile sistemde kayıtlı olan görüntüler farklı yönlerde olsa bile oy tespitini etkilememektedir ve başarı ile sınıflandırma yapılmaktadır.



Şekil 6. Farklı boyut ve yönlerde oy pusula görüntüleri

İkinci aşamada ise sistemde kayıtlı evet ve hayır oyları kullanılarak oyun kime verildiğinin tespiti ve sayımını yapılmaktadır. Bu kısımda oyun kime verildiği oyun yatay yani x-eksenindeki konumundan faydalanılarak tespit edilmektedir. Şekil 7'de oyların tespiti görülmektedir.



Şekil 7. Oyların kime verildiğinin tespiti

Çalışmada yapılan testlerde %100 başarı oranı ile oylar tespit edilmiştir. Evet/Hayır oyları yatay eksenindeki konumundan faydalanılarak tespit edildiği için oy kağıdının yönü farklı konulduğunda ya da kağıt belli bir miktar kaydırıldığında hatalı tahmin etmektedir. Bu yüzden alınan görüntünün belli bir standartta olması analizlerin doğru yapılabilmesi için önemlidir.

#### 4. Sonuç

Çalışma iki temel aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, geliştirilen sistem ile evet ve hayır oyları başarı ile tespit edilmiş ve sayımı gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise tespit edilen oyun kime verildiğinin tespiti yapılmıştır.

Çalışmada, görüntü işleme tekniklerinden ORB (Yönlendirilmiş FAST ve Döndürülmüş) metodu kullanılarak görüntü eşleştirme işlemi

gerçekleştirilmiştir. ORB metodu ile görüntüde bulunan tanımlayıcı noktaların tespit edilmesini sağlanmaktadır. Brute-Force Matching (BF Eşleştirme) algoritması kullanılarak tespit edilen tanımlayıcı noktalar arasında istenilen uzaklık bilgisi verilerek eşleşmenin yapılması sağlanmaktadır. Eşleşme sayısından faydalanılarak oylar tespit edilmekte ve sayımı gerçekleştirilmektedir.

Yapılan testlerde sistem %100 başarılı ile oy tespitini ve oyun kime verildiğinin tespitini yapabilmektedir. Sistemde bazı eksiklerde bulunmaktadır. Oyun yönü değişirse veya oy kağıdı kaydırılırsa, oyun tespiti ve sayımında güçleşmektedir. Bunu düzeltmek için, bu sistemde mevcut olan üst kısımdaki harflerin yerine kelime kullanarak ya da şekiller kullanarak, bu değişkenleri ORB temel nokta eşleşmesi ile tespit edilebilecek ve konumlarına ulaşılabilir.

Geliştirilen bu sistem uzun zaman alan ve tartışmalara neden olan oy sayım işlemlerinden kullanılabilir. Böylece oy sayımları hızlı, güvenilir ve doğru olarak yapılabilir.

#### Kaynaklar

- [1] Smith, E.H.B., Lopresti, D., Nagy, G. Ballot mark detection. *19th International Conference on Pattern Recognition*, Florida, United State, 8-11 December 2008.
- [2] Smith, E.H.B., Goyal, S., Scott, R., Lopresti, D. Evaluation of voting with form dropout techniques for ballot vote counting. *International Conference on Document Analysis and Recognition*, Beijing, China, 18-21 September 2011.
- [3] Nagy, G., Lopresti, D., Smith, E.H.B., Wu, Z. Characterizing challenged Minnesota ballots. *Document Recognition and Retrieval XVIII*, California, United State, 23-27 January 2011.
- [4] Barney-Smith, E.H., Nagy, G., Lopresti, D. Mark detection from scanned ballots. *Document Recognition and Retrieval XVI*, California, United State, 20-22 January 2009.
- [5] Nagy, G., Clifford, B., Berg, A., Saunders, G., Lopresti, D., Smith, E.B. Camera-based ballot counter. *10th International Conference on Document Analysis and Recognition*, Barcelona, Spain, 26-29 July 2009.
- [6] Wang, K., Rescorla, E., Shacham, H., Belongie, S.J. OpenScan: A Fully Transparent Optical Scan Voting System. *EVT/WOTE*, 10, 1-13, 2010.
- [7] Calonder, M., Lepetit, V., Strecha, C., Fua, P. Brief: Binary robust independent elementary features. *European conference on computer vision*, 778-792, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [8] Zhang, H.Z., Lu, Y.F., Kang, T.K., Lim, M.T. B-HMAX: A fast binary biologically inspired model for object recognition. *Neurocomputing*, 218, 242-250, 2016.



- [9] Lowe, D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110, 2004.
- [10] Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., Bradski, G. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. *International conference on computer vision*, Barcelona, Spain, 6-13 November 2011.
- [11] Se, S., Lowe, D., Little, J. Mobile robot localization and mapping with uncertainty using scale-invariant visual landmarks. *The International Journal of Robotics Research*, 21(8), 735-758, 2002.
- [12] Snavely, N., Seitz, S.M., Szeliski, R. Skeletal sets for efficient structure from motion. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Anchorage, Alaska, 23-28 June 2008.
- [13] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Van Gool, L. Speeded-up robust features (SURF). *Computer vision and image understanding*, 110(3), 346-359, 2008.
- [14] Aglave, P., Kolkure, V.S. Implementation Of High Performance Feature Extraction Method Using Oriented Fast And Rotated Brief Algorithm. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(2), 394-397, 2015.
- [15] Xu, J., Chang, H.W., Yang, S., Wang, M. Fast feature-based video stabilization without accumulative global motion estimation. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(3), 993-999, 2012.
- [16] Qin, Y., Xu, H., Chen, H. Image feature points matching via improved ORB. *IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing*, Shanghai, China, 2014.
- [17] Wang, M., Niu, S., Yang X. A novel panoramic image stitching algorithm based on ORB. *International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, Sapporo, Japan, 2017.
- [18] Yeh C.C., Chang, Y.L., Hsu, P.H., Hsien, C.H. GPU Acceleration of UAV Image Splicing Using Oriented Fast and Rotated Brief Combined with PCA. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Valencia, Spain, 22-27 July 2018.
- [19] Awaludin, M., Yasin, V. Application of Oriented Fast and Rotated Brief (ORB) and Brute force Hamming in Library Open CV for Classification of Plants. *Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research*, 4(3), 51-59, 2020.
- [20] Kolomenkin, M., Pollak, S., Shimshoni, I., Lindenbaum, M. Geometric voting algorithm for star trackers. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 44(2), 441-456, 2008.
- [21] Antony, N., Devassy, B.R. Copy Move Image Forgery Detection Using Adaptive Over-Segmentation and Brute-Force Matching. *Image*, 5(4), 2018.
- [22] Khan, N., McCane, B., Mills, S. Better than SIFT. *Machine Vision and Applications*, 26(6), 819-836, 2015.
- [23] Muja, M., Lowe, D.G. Scalable nearest neighbor algorithms for high dimensional data. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 36(11), 2227-2240, 2014.

Orijinal Makale/Research Article

## Farklı tork değerleri altında kardan mili istavroz dayanımının sonlu elemanlar ve analitik yöntem ile belirlenmesi ve kıyaslanması

Mert Can KAHYALAR<sup>1</sup>, Onur ŞEN<sup>1</sup>, Tülay NAYİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tirsan Kardan San. ve Tic. A.Ş., Araştırma Geliştirme Merkezi, Manisa, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Kardan mili  
İstavroz,  
Üniversal mafsals,  
Sonlu elemanlar analizi,  
Analitik metot

### Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 03.09.2021  
Kabul Tarihi: 29.11.2021

**Öz:** Kardan milleri motor veya dişli kutularından aldığı torku dönme hareketiyle diferansiyel veya başka elemana ileten güç aktarma organlarıdır. Araç hareketi ve farklı yol koşulları göz önüne alındığında tork aktarımını kardan milinin sahip olduğu boy kompanzasyonu ve açısız hareket kabiliyeti ile sağlanmaktadır. Açısız hareket, kardan mili mafsals grubu ile sağlanır. Mafsals grubunun bir elemanı olan, kulaklı parçaları birbirlerine bağlayan istavroz gövdesi araca uygun kardan mili seçiminde ilk sırada göz önüne alınmaktadır. Zira diğer kardan mili parçalarına nazaran daha yüksek gerilmeler altında çalışmaktadır. Bu nedenle istavroz gövdesinin maruz kaldığı yük ve dolayısıyla oluşacak gerilmelere mukavim yapıda olması gerekmektedir. Çalışmada analitik ve sonlu elemanlar analiz (FEA) metotları kullanılarak farklı tork değerleri altında kardan mili istavrozunun kritik kesiti üzerinde oluşan gerilme değerleri tespit edilmiş ve her iki yöntem için değerler kıyaslanmıştır. Kıyaslama neticesinde her iki yöntem ile elde edilen gerilme değerlerinin %2-%3 aralığında sapma ile birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Sonlu elemanlar analizinin analitik yöntemle kıyasla daha uzun uygulama süreleri gerektirdiği ve her iki yöntem ile elde edilen gerilme değerlerinin birbiri ile örtüştüğü göz önüne alındığında, kardan mili istavrozunu ön tasarım çalışmalarında analitik yöntemin kullanılabileceği ve bu sayede zaman açısından avantaj sağlayacağı tespit edilmiştir.

### Atıf için/To Cite:

Kahyalar MC, Şen O, Nayir T. Farklı tork değerleri altında kardan mili istavroz dayanımının sonlu elemanlar ve analitik yöntem ile belirlenmesi ve kıyaslanması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(2), 57-61, 2021.

## Determination and comparison of the strength of the universal joint on driveshaft for various torque values, by finite element analysis and analytical method

### Keywords

Driveshaft  
Joint Cross  
Universal Joint  
Finite Element Analysis  
Analytical Method

### Article history:

Received: 03.09.2021  
Accepted: 29.11.2021

**Abstract:** Driveshafts are power transmission elements that transmit the torque received from the engine or gearboxes to the differential or another element. When considered vehicle movement and different road conditions, transmission of torque is provided by the ability of length compensation and angular movement of the driveshaft. Angular movement is provided by the driveshaft joint group. The cross-body in a joint group, connects opposing yoke parts to each other, which is considered for selection of suitable driveshaft for a vehicle. Because it is exposed to higher stresses compared to other driveshaft parts during running. Thus, the cross-body should be resistant to the load and the stresses occurred. In the study, stress values on the critical section of the cross-body under different torque values were determined by using analytical and finite element analysis (FEA) methods, and the values obtained by both methods were compared to each other. As a result of the comparison, it was observed that the stress values obtained by both methods were highly close to each other within a difference between 2% and 3%. Finite element analysis requires longer application time compared to the analytical method. Considering that the stress values obtained by both methods overlap with each other, it has been determined that the analytical method can be used at the beginning of the cross-body design of the driveshaft due to its short application time.

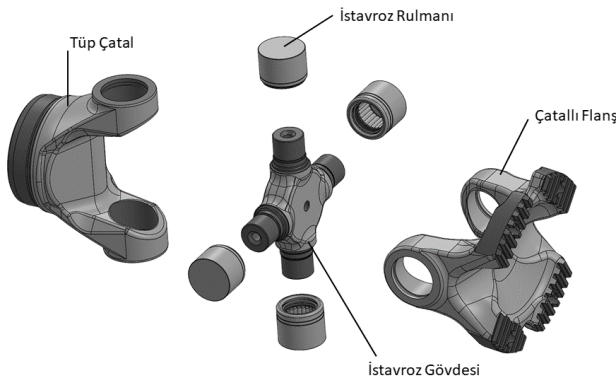
## 1. Giriş

Kardan milleri motorun bağlı olduğu vites kutusundan gelen gücü diferansiyelde bulunan dişlilere iletmek için kullanılan güç aktarma elemanlarıdır. Temel olarak araç üzerinde eksenleri birbirinden kaçık olan yapılar arasında dönme hareketini iletir [1,2]. Kardan milleri kullanım alanlarına göre (ticari araç uygulamaları, yol dışı araç uygulamaları, endüstriyel uygulamalar, vb.) araç dingil mesafesine ve aracın sahip olduğu toplam aks sayısına bağlı olarak farklı tasarımlara sahiptir, Şekil 1.



Şekil 1. Kullanım alanlarına göre kardan mili çeşitleri

Kardan milleri değişken yol koşullarına bağlı olarak açı ve boy kompanzasyonu sağlamalıdır. Farklı açı değerleri altında çalışması mafsallar sayesinde sağlanır iken, boy değişimi ise kayıcı grup tarafından sağlanmaktadır [3]. Açı değişkenliğinde güç iletimini sorunsuz şekilde yapabilmek adına kardan milinin bir alt grubu olan üniversal mafsal grubu kullanılmaktadır. Mafsal grubunun parçaları Şekil 2'de gösterilmektedir. Üniversal mafsal grubunu oluşturan parçalardan olan istavroz, üzerindeki rulmanlar sayesinde gerekli olan açığı sağlar.



Şekil 2. Sabit Mafsal grubu parçaları

Kardan milleri ve alt bileşenleri aracın motor ve dişli kutuları arasında burulmaya maruz kalır ki, bu nedenle yeterince düşük bir kütleyle sahipken strese dayanacak seviyede mukavim olmaları gerekir. Bu çerçevede

kardan mili alt bileşenlerini konu alan hafifletme, kaynak kullanımının azaltılması ve çevre kirliliğinin azaltılması gibi çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmalar parça geometrisi üzerinde olabileceği gibi malzeme değişikliği ile de mümkündür. Öncelikli olarak bileşenler üç boyutlu olarak tasarlanır ve sonlu elemanlar analiz programı ile analiz edilerek kritik kesitteki Von Mises değerleri kontrol edilir. Bu çalışma Von Mises gerilme değeri ile hafiflik arasında optimum ilişki sağlanana dek iterasyonlar şeklinde devam eder. Literatür incelendiğinde, aynı amaç doğrultusunda farklı metod ve bakış açıları ile ortaya koyulmuş olan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Önceki yıllarda yapmış olduğumuz bir çalışmada, kardan mili parçası olan tüp çatal parçasının kritik kesitine gelen Von Mises değerleri analitik olarak hesaplanmış ve sanal olarak sonlu elemanlar analizi ile korelasyon sağlanmıştır. Sonlu elemanlar analizinde girdi olarak hem moment hem de kuvvet ayrı ayrı kullanılmış, birbiri ile yakın sonuçlar elde edilmiştir. Buradan yola çıkarak analitik yöntemin zaman açısından nümerik yöntemle göre efektif olması nedeniyle, analitik yöntem sonuçlarının tutarlılığı göz önüne alınarak kullanımı tavsiye edilmiştir [4].

Solanke ve arkadaşları (2014) ağırlık, maliyet, yorulma ömrü, gerilme dağılımı, sertlik vb. unsurları dikkate alarak en iyi istavroz tasarımının elde edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. FEM ve foto elastisite deneyi kullanılan metodlar olarak çalışmaya dahil edilmiştir [5]. K. Živković ve arkadaşları (2011), geometrik değişikliklere bağlı olarak kardan mili istavrozunun gerilmesinin nasıl değiştiğini gözlemlemişlerdir. Çalışmada, istavrozun kritik bölgesindeki gerilmeyi hesaplanmış ve sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır [6].

Kashyap ve Matho (2014), farklı parçalar üzerindeki farklı yükler altında mafsal grubu parçası olan istavrozun davranışını tahmin eden sonlu eleman analizi sunmuştur [7].

Kawale ve arkadaşları (2018) kardan mili için tasarım metodolojisini incelemişler ve bu kapsamda kardan mili ağırlığı azaltmak üzere tasarım parametrelerini göz önüne almışlardır. Yapılan çalışmada araç tipi, motor, lastik boyutu, araç uygulaması, ömür beklentisi vb. girdiler kullanılmış ve kardan mili tasarımı analiz edilmiş, ortaya koyulmuştur [8].

Muley ve arkadaşları (2016), kayıcı Mafsalı çalışılmışlardır. Tasarım doğrulaması, çeşitli parametreler arasındaki sayısal ilişki kullanılarak yapılmıştır. Kayıcı mafsal kırılmasının, indüklenen gerilmeler nedeniyle meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. SAE 1050 ve SM45C gibi farklı malzemelerin dayanım, deformasyon ve diğer parametreleri karşılaştırılmıştır [9].

Ivanović ve arkadaşları (2011), periyodik olarak bakıma ihtiyaç duyan istavroz gövdelerinde optimum tasarım ortaya koyulması amacıyla bir dizi sonlu

elemanlar analizi uygulayarak ve analitik yöntem kullanarak istavroz gövdesi önermişlerdir [10].

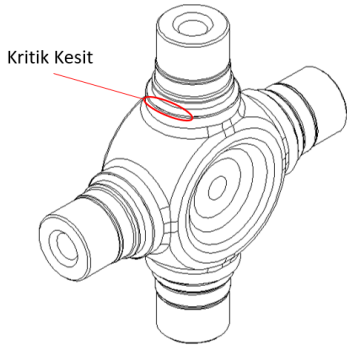
Avrigean ve arkadaşları (2015), istavroz üzerinde sonlu eleman analizleri, analitik hesaplamalar ve deneysel gerilim kontrolü ile sonlu elemanlar analizi konusunda bir yaklaşım sunmuşlardır. Sonlu elemanlar analizi ve hesaplamalar arasında uyum gözlemlenirken, aynı uyum deneysel yöntemin sonuçlarında gözlemlenmemiştir [11].

Bu çalışmada istavroz gövdesine gelen yükün kritik kesitte oluşturduğu eşdeğer gerilme analitik ve nümerik yöntemler (sonlu elemanlar analizi yöntemi) ile tespit edilmiş, her iki yöntemin sonuçları kıyaslanmıştır. Analitik metod literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak istavroz kollarındaki çap geçişlerinin neden olacağı çentik etkisini de ele alarak uygulanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada istavroz gövdesi üzerine gelen yükler için kritik kesit belirlenmiştir. Sonrasında kritik kesitteki gerilmeler analitik ve nümerik olmak üzere iki farklı metodun kullanılması ile incelenmiştir. Her iki inceleme sonucunda kritik kesit üzerindeki Von Misses gerilme değerleri elde edilmiş ve elde edilen değerler birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Gerek saha tecrübeleri gerek sonlu elemanlar analiz sonuçları, istavroz gövdesi üzerindeki yüksek gerilmelerin rulmanların kollarındaki muylu detayında olduğu gözlemlenmektedir. İstavroz gövdesine ait üç boyutlu model ve gerilme bakımından kritik olan bölge Şekil 3'te ifade edilmektedir.

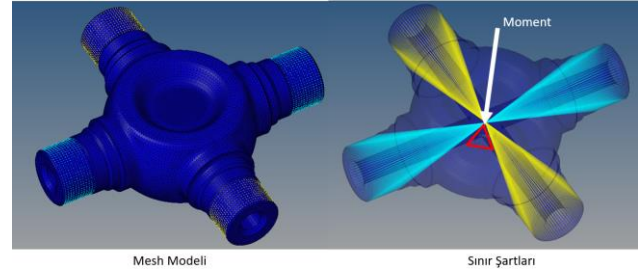


Şekil 3. İstavroz gövdesine ait üç boyutlu model ve gerilme bakımından kritik olan bölge

### 2.1. Sonlu Elemanlar Analiz Metodu

Bilgisayar destekli tasarım programı Catia V5 R62020 ile tasarlanan istavroz gövdesi sonlu elemanlar modeli HyperWorks-2017 bilgisayar destekli analiz programına aktarılmıştır. Sonlu elemanlar analizi ile problem çözmenin ilk adımı olan mesh oluşturma için

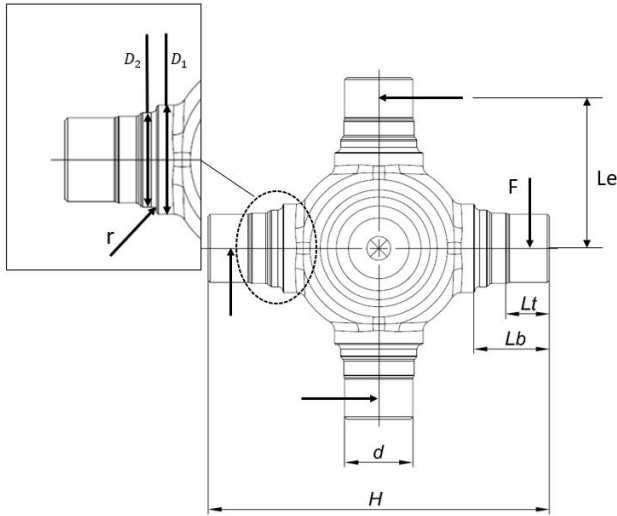
öncelikle üç boyutlu model üzerinde gerekli geometrik düzenlemeler yapılmıştır. Hemen sonrasında istavroz gövdesinin boyutu göz önüne alınarak üç boyutlu tetra elemanlardan yararlanılarak üzerine sınır koşullarının ve harici yüklerin tanımlanacağı mesh yapısı kurulmuştur. Mesh yapısı önceki çalışmalarımız kapsamında testler ile doğruluğu ispatlanmış olan eleman boyutunun kullanılması ile oluşturulmuştur [12]. Bir sonraki adımda istavroz gövdesinin dört kolundan karşılıklı olan iki kolu rijit elemanlar ile birbirine bağlanmış ve bu rijit elemanların orta noktalarına dönme ve öteleme hareketlerinde serbestlik olmayacak şekilde sabitleme elemanları atanarak sınır koşulları tanımlanmıştır. Geriye kalan karşılıklı iki kol da benzer şekilde rijit elemanlar ile bağlanmış ve rijit elemanların orta noktasına sırasıyla 1500 Nm, 3000 Nm ve 4600 Nm değerinde dönme momenti tanımlanmıştır. Elastisite modülü 210 GPa ve poisson oranı ise 0,3 olarak tanımlanıp analiz için ön hazırlıklar tamamlanmıştır. Tüm bu ön hazırlıklar sonrasında ortaya koyulan FEA modeli Şekil 4'te ifade edilmektedir. Sarı renk ile belirtilen rijit elemanlar moment tanımlamak için kullanılırken, mavi renkteki rijit elemanlar ise modelin sabitlenmesinde kullanılmıştır. Analiz yapısal olarak lineer statik koşulda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Mesh yapısı üzerine tanımlanmış sınır şartları ve harici yükler

### 2.2. Analitik Metot

Sonlu elemanlar analiz metodunun yanı sıra analitik yöntem ile de istavroz gövdesinin kritik bölgesindeki gerilme değerleri hesaplanmıştır. Çalışmaya konu olan istavroz gövdesine ait temel ölçüler Şekil 5 ile iki boyutlu model üzerinde belirtilmiştir.



Şekil 5. İstavroz gövdesine ait iki boyutlu model ve temel ölçüler

Kardan mili istavroz gövdesinde, etkiyen eğilme momentinin etkisi ile ilgili kesitte (kolların dip kısmı) eğilme gerilmesi ortaya çıkar. Gövde üzerine etkiyen eğilme momenti istavroz kolunun uç kısmında değildir, diğer bir ifade ile eğilme momenti maksimum seviyede değildir bu nedenle eğilme gerilmesinin yanında, muylu üzerindeki silindirik kesitte kesme gerilmesi de ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda, Şekil 5' de yer alan temel ölçüleri göz önüne alarak kritik bölgede eğilme ve kesme gerilmeleri sırasıyla denklem (1) ve denklem (2) ile hesaplanabilir.

$$\sigma_e = \frac{F(L_b - 0,5L_t)}{W_e} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Kritik kesitteki gerilme yığılmasını Peterson yaklaşımı [13] ile göz önüne alarak çentik faktörünü düşündüğümüzde, Eşitlik 3'ten yararlanarak maksimum kayma gerilmesini denklem (3) ile hesaplayabiliriz.

$$\tau_{max} = K_\zeta \tau \quad (3)$$

$$K_\zeta = 1 + q(K_t - 1) \quad (4)$$

$$K_t = 1 + \frac{1}{\sqrt{3,4\frac{r}{t} + 38\frac{r}{D_2}(1 + 2\frac{r}{D_2})^2 + 1(\frac{r}{t})^2\frac{D_2}{D_1}}} \quad (5)$$

Kritik kesitte ortaya çıkan eğilme ve kesme gerilmelerine eşdeğer olan gerilme ise maksimum şekil değiştirme enerjisi hipotezine göre aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanabilir.

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)} \quad (6)$$

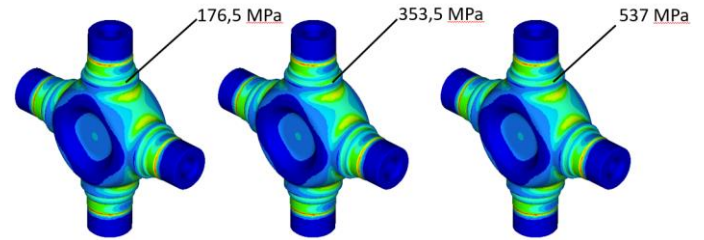
İstavroz gövdesi üzerinde x yönündeki normal gerilme eğilme gerilmesine eşittir. Bu durumu göz önüne alarak Eşitlik (6) rafine edilerek denklem (7) haline getirilir.

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau^2} \quad (7)$$

Uygulanan sınır şartları ile 263056 elemana, 55679 düğüm ve 4,7 eleman kalitesine sahip modele ayrı ayrı uygulanan 1500 Nm, 3000 Nm ve 4600 Nm tork değerleri ile sonlu elemanlar modeli sonuçları ortaya konulmuştur.

### Sonuçlar

Yapılan bu çalışmalar ile kritik kesitte Von Mises gerilme olarak Şekil 6'da görüldüğü gibi 1500 Nm moment değerinde 176,5 MPa, 3000 Nm moment değerinde 353,5 MPa ve 4600 Nm momentte 537 MPa olarak tespit edilmiştir.



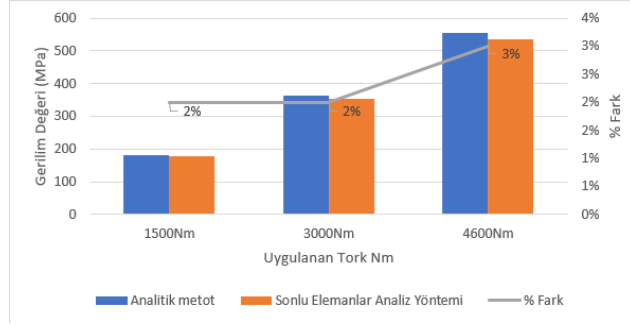
Şekil 6. İstavroz gövdesi sonlu elemanlar modeli kritik kesitinde Von Mises gerilmesi

Yapılan analitik hesaplar doğrultusunda Tablo 1'de görülen değerler elde edilmiştir. Literatürden farklı olarak çentik etkisinin de dahil edilmesi ile analitik metot sonucunda elde edilen eşdeğer gerilmeler 1500 Nm için 181 MPa, 3000 Nm için 362 MPa ve 4600 Nm için 556 MPa büyüklüğündedir.

Tablo 1. İstavroz gövdesi kritik kesiti için analitik olarak hesaplanan değerler.

Parametre ve Çıktılar	Sonuçlar		
	1500 Nm	3000 Nm	4600 Nm
$K_\zeta$	1,5	1,5	1,5
$\tau$	82 MPa	165 MPa	252 MPa
$W_e$	2389 mm <sup>3</sup>	2389 mm <sup>3</sup>	2389 mm <sup>3</sup>
$\sigma_e$	112 MPa	224 MPa	343 MPa
$\sigma_{eş}$	181 MPa	362 MPa	556 MPa

Her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar kıyaslandığında şekil 7'de görüleceği gibi birbirlerine 1500 Nm ve 3000 Nm için %2, 4600 Nm için ise %3 hata payı ile yakınsadıkları gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Analitik ve Sonlu elemanlar analizlerinin karşılaştırması

Sonuç olarak sonlu elemanlar analizlerinin ön hazırlık ve uygulama aşamaları için gereken zaman göz önüne

alındığında, analitik yöntemin kullanılması oldukça efektif bulunmuştur.

$\sigma_e$	Eğilme momenti [MPa]
F	İstavroz kolu üzerine etkiyen yük [N]
$W_e$	Mukavemet Momenti [mm <sup>3</sup> ]
$L_b$	Eğilme noktasına uzunluk [mm]
$L_t$	Muyulu uzunluğu [mm]
A	Kesit alanı [mm <sup>2</sup> ]
$K_\zeta$	Çentik faktörü
$K_t$	Teorik çentik faktörü
$D_1$	Büyük kesitteki çap [mm]
$D_2$	Küçük kesitteki çap [mm]
r	Çap geçişindeki yarı çap [mm]
t	Çaplar arası mutlak fark ( $D_1 - D_2$ ) [mm]
q	Çentik Hassasiyet Faktörü
$\tau_{max}$	Çentik faktörü etkisindeki kesme gerilmesi [MPa]
$\tau$	Kesme gerilmesi [MPa]
$\sigma_{eş}$	Eşdeğer gerilme [MPa]

## Kaynaklar

- [1] Oh SJ, Woscek JT. Analysis of rzeppa and cardan joints in monorail drive train system. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 4(1), 1-11, 2015.
- [2] Palma P, Tiussi G, Donadon A, Raffaglio Y, Luca AD, Leitner M, Grün F, Benasciutti D. Fatigue assessment of universal cardan joint based on laboratory specimen tests. *Part of the ABM Week*, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 17-21 Ağustos, 2015.
- [3] Seherr-Thoss H, Schmelz F, Aucktor E. *Universal Joints and Driveshafts*, 1, 2006.
- [4] Sen O, Kahyalar MC, Structural analysis of yoke part in design of driveshaft. *International Journal of Automotive Technology*, 4(4), 248-252, 2020.
- [5] Solanke SG, Bharule AS. An investigation on stress distribution for optimization of yoke in universal joint under variable torque condition. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 3(2), 136-142, 2014.
- [6] Živković K, Ivanović L, Stojanović B. The effect of geometry on the stress distribution of cross shaft. *IRMES International Scientific Conference*, Zlatibor, Sırbistan, 27-28 Nisan 2011.
- [7] Kashyap K, Mahto DG. Analysis of Hooks Joint Using Ansys by Von Mises method. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 3(3), 304-305, 2014.
- [8] Kawale V, Patil G, Pune S. Design Methodology of Drive Shaft. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 7(3), 1416-1424, 2018.
- [9] Muley AA, Sheikh MJ, Thakre GV. Failure Analysis Of Yoke Joint Assembly. *International Research*
- [10] Ivanović L, Živković DJK, Stojanovic B. Cross Shaft Design From the Aspect of Capacity. *Scientific Technical Review*. 61(1), 56-63, 2011.
- [11] Avrigean E, Pascu AM, Oleksik VS. Study of the Cardan Cross Using the Experimental and Analytical Method. 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, Vienna, Ağusturya, 23-30 Kasım 2014.
- [12] Kahyalar MC, Şen O. Kardan Milli İstavroz Gövdesinde Dayanıklılığın Arttırılması ve Yapısal Analiz ile Doğrulanması. Üçüncü Ulusal Üniversite-Sanayi İş Birliği, Ar-Ge ve İnovasyon Kongresi, Manisa, Türkiye, 29 Aralık 2020.
- [13] Pilkey WD, Peterson's Stress Concentration factors. 2nd Ed. John Wiley & Sons, 1997.

*Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 3(10), 762-767, 2016.

Orijinal Makale/Research Article

## Eklemeli imalat yöntemiyle PLA malzemeden üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi

Ömer KARABIYIK<sup>1</sup>, Kenan APAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 32100, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 32100, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Eklemeli imalat  
Ergiyik biriktirme modelleme  
Polilaktik asit  
Mekanik özellikler

### Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 15.07.2021

Kabul Tarihi: 23.09.2021

**Öz:** Bu çalışmada, hızlı prototiplemede yaygın olarak kullanılan ve bir eklemeli imalat yöntemi olan, Ergiyik Biriktirme Yöntemi (EBY) (FDM-Fused Deposition Modeling) kullanılarak, mavi renkli polilaktik asit (PLA) malzemelerinden üretilen deney numunelerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Deney numunelerinin elde edilmesinde; üç farklı dolgu deseni "Çizgi, Izgara, Eş Merkezli", üç farklı doluluk oranı "%20, %60, %100" ve üç farklı üretim hızları (baskı hızı) "20 mm/sn, 40 mm/sn, 60 mm/sn" değişken olarak belirlenmiştir. Daha sonra deney numuneleri sertlik ölçümü ve çekme testlerine tabi tutularak, ürünlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre; doluluk oranındaki artış ile birlikte numunelerin çekme mukavemeti de artmıştır. Dolgu deseni ve üretim hızının değişimi, çekme mukavemeti açısından kayda değer bir değişikliğe neden olmamıştır. Doluluk oranının artışı ve üretim hızının azalması ise uzama değerlerinde azalmaya, sertlik değerinde ise azda olsa artışa neden olmuştur. Dolgu deseni farklılığının anlamlı bir değişime neden olmadığı görülmüştür. Deney sonuçları karşılaştırmalı grafikler halinde verilmiştir.

### Atıf için/To Cite:

Karabiyik, Ö. Apak K. Eklemeli imalat yöntemiyle PLA malzemeden üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(2), 62-68, 2021.

## Investigation of mechanical properties of products produced from PLA material by additive manufacturing method

### Keywords

Additive manufacturing  
Fused Deposition Modeling  
Polylactic acid  
Mechanical properties

### Article history:

Received: 15.07.2021

Accepted: 23.09.2021

**Abstract:** In this study, the mechanical properties of test specimens produced from blue color polylactic acid (PLA) materials were investigated by using Fused Deposition Modeling (FDM), which is widely used in rapid prototyping. In obtaining test samples; three different filling patterns "Line, Grid, Concentric", three different filling rates "20%, 60%, 100%" and three different production speeds (print speed) "20 mm/sec, 40 mm/sec, 60 mm/sec" as variable determined. Then, the mechanical properties of the products were examined by subjecting the test samples to hardness measurement and tensile tests. According to the test results; The tensile strength of the samples increased with the increase in the fullness rate. The change of filling pattern and production speed did not cause a significant change in terms of tensile strength. The increase in the filling rate and the decrease in the production speed caused a decrease in the elongation values and a slight increase in the hardness values. It was observed that the filling pattern difference did not cause a significant change. Experiment results are given in comparative graphics.

### 1. Giriş

Eklemeli imalat (Eİ), bir nesnenin üç boyutlu model verilerinden yola çıkarak malzemeleri katman katman

birleştirilerek parça yapma işlemi olarak tanımlanabilir [1],[2]. Bu özelliğiyle eklemeli imalat, özellikle hızlı prototipleme süreçlerinde geleneksel imalat yöntemlerine göre birçok avantajlar sunmaktadır

[3],[4]. Eklemeli imalat ile basit bir geometrik şekildeki parça ile aynı hacimdeki daha karmaşık yapıdaki bir parçanın üretimi arasında zaman ve zorluk açısından bir fark olmaksızın imal edilebilmektedir. Günümüzde eklemeli imalat; otomotiv, uzay, havacılık, savunma sanayi, inşaat, tıp, prototipleme, biyomedikal,

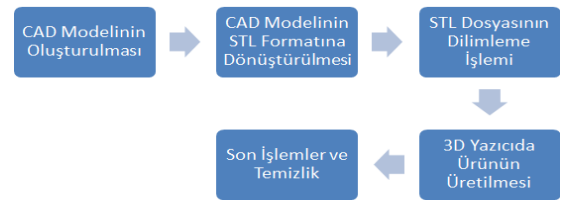
biyomekanik, kimya endüstrisi, spor malzemeleri, oyuncak, kâğıt imalatı, dökümhane endüstrileri, elektronik ve akıllı yapılar dahil olmak üzere farklı endüstrilerde kullanılmaktadır [2],[4]-[9]. Eklemeli imalat yöntemleri ve özelliklerinin kısaca yer aldığı bilgiler Tablo 1’de verilmiştir [6],[10],[11].

Tablo 1. Eklemeli imalat yöntemleri ve özellikleri

Eklemeli İmalat Yöntemi	Çalışma Şekli	Kullanılan Malzemeler
<b>3D P</b> Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi (3D Printing)	Bağlayıcı ile toz bağlama ve kurutma	Yüksek Performanslı Kompozit
<b>3D BJ</b> Üç Boyutlu Bağlayıcı Püskürtme (3D Binder Jet)	Bağlayıcı ile metal toz bağlama ve sinterleme	17-4PH, 304L, 316L, Aluminum 6061, Cobalt Chorome, Copper, H13 Tool Steel, Inconel 718, Inconel 625, M2 Tool Steel, Titanium, Tungsten.
<b>CC</b> Kontür İşçiliği (Contour Craft)	Macun kıvamında konsantre harcı katmanlı yığma	Seramik, Kil, Beton ve Toprak
<b>EBM</b> Elektron Işınli Ergitme (Electron Beam Melting)	Elektron ışınli ergitme	Kobalt Krom ve Titanyum Alaşımları
<b>FDM</b> Ergiyik Biriktirme Yöntemi (Fused Deposition Modeling)	Ektrüzyonla eritilmiş malzemenin katmanlı yığma tekniği	ABS, PLA, Poliamid, Polikarbonat, Polietilen, Polipropilen ve Hassas Döküm Mumu
<b>LOM</b> Tabakalı Yapıştırma Parça İmalatı (Laminated Object Manufacturing)	Tabakaların lazerle kesilip yapıştırılması	Kâğıt, Plastik Köpük, Metal ve Seramik Tozu Emdirilmiş Malzemeler
<b>MJM</b> Çok Jetli Modelleme (Multi-Jet Modelling)	Çok jetli püskürtme ve UV ışını ile katılaştırma	Parafin, Mum, Termopolimerler
<b>SDM</b> Şekil Biriktirme İmalatı (Shape Deposition Manufacturing)	Malzemenin yığılması ve CNC işleme merkezi ile işlenmesi	Metal, Plastik, Seramik tozları
<b>SGC</b> PolyJet Teknolojisi, Katı Tabaka Kurutma Teknolojisi (Solid Ground Curin)	Foto maskeleme ve UV ışını ile katılaştırma	Fotopolimer, Akrilik, Mum
<b>SLA</b> Tarayarak Işıklı Kütleme Tekniği (Stereo Lithography Apparatus)	Fotopolimer malzemenin UV ışını ile katılaştırma	Reçine Bazlı Malzemeler, Akrilik, Epoksi, Polipropilen
<b>SLS</b> Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering)	Tozun lazer ile sinterlenmesi	Poliamid, Polistren, Karbon Fiber ve Alüminyum Katkılı Poliamid, Polikarbonat, Paslanmaz Çelik
<b>SLM</b> Seçici Lazer Ergitme (Selective Laser Melting)	Tozun lazer ile eritilmesi	Çelik ve Alüminyum gibi bazı Metaller
<b>POLYJET</b>	Fotopolimer püskürtme ve UV ile katılaştırma	Akrilik gibi Termoplastikler

Eklemeli imalatla, ilkönce tasarlanan ürünün bilgisayar ortamında CAD modeli oluşturulur. Oluşturulan CAD model, STL uzantılı transfer dosyası biçimine dönüştürülür. Uygun bir CAM benzeri arayüz programı ile ürün modeli katman katman ince tabakalar halinde dilimlenerek, G-CODE adı verilen ve esasında Eİ makinesinin (yaygın adıyla “3B-yazıcının”) ekstrüzyon kafasının hareket yolu elde edilir. Ektrüzyonla eritilen malzeme katmanlı olarak üst üste

yığılarak/biriktirilerek ürün elde edilir. Son olarak varsa çapaklar temizlenir (Şekil 1).



Şekil 1. FDM Eİ yönteminde işlem aşamaları



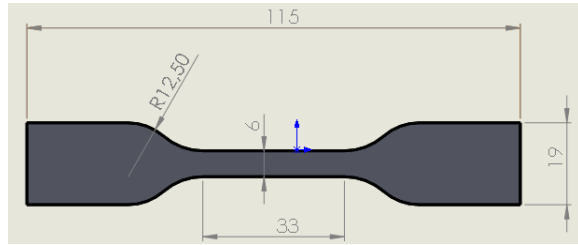
## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, EBY-Ergiyik Biriktirme Yöntemi (FDM-Fused Deposition Modelling) kullanılarak mavi renkli PLA (Polilaktik Asit) malzemesi ile üretilen ürünlerin (Tablo 2) [12], ürün elde etme süreçlerinde tercih edilen; dolgu deseni, doluluk oranı, biriktirme/yığıma hızı (bundan sonra “üretim hızı” olarak belirtilecektir) değişkenleri dikkate alınarak (Tablo 3), en iyi ürünün elde edilebileceği ayarlanabilir yazıcı değişkenlerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Tablo 2. Deney numunelerinde kullanılan PLA malzemesinin özellikleri [12].

Özellikler	Birim	PLA
Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	1.20-1.25
Eriye Sıcaklığı	°C	190-220
Eriye Akış İndeksi	g/10 min	7.8
Çekme Dayanımı	Mpa	62.63
Uzama Dayanımı	%	4.43
Eğilme Dayanımı	Mpa	65.02
Eğilme Modülü	Mpa	2504.4
Darbe Dayanımı	kJ/m <sup>2</sup>	4.28

Bu amaçla, EBY makinesi/yazıcısı olarak HyperCube marka 3D yazıcı kullanılmıştır. Tabaka kalınlığı 0.1 mm, nozul sıcaklığı (200 °C) ve tabla sıcaklığı (50 °C) sabit tutularak, Tablo 2’de belirtilen “ürün üretim değişkenleri” ve ASTM D638-14 standardına uygun ölçülerde deney numuneleri üretilmiştir (Şekil 2) [13].



Şekil 2. ASTM D638-14' e göre tasarlanan numune

Tablo 3. Ürün üretim değişkenleri

Değişken 1	Değişken 2	Değişken 3
Doluluk Oranı	Dolgu Deseni (STL Görselleri)	Üretim Hızı (Baskı Hızı)
%20	Çizgi (Line)	20 mm/sn
%60	Izgara (Grid)	40 mm/sn
%100	Eş Merkezli (Concentric)	60 mm/sn

Deney numunelerinin sayısının belirlenmesinde Taguchi deney tasarım metodu kullanılmıştır (Tablo 3) [14],[15]. Buna göre üretilen 27 adet deney numunesine çekme deneyi ve sertlik ölçme deneyi yapılarak mekanik özellikleri incelenmiştir.

Bu amaçla sıcaklık sabit tutularak 3 farklı dolgu deseninde, 3 farklı üretim hızında ve 3 farklı doluluk oranı seçimi yapılmıştır. 3D yazıcıda kullanılan üretim hızları; V=20 mm/sn, V=40 mm/sn ve V=60 mm/sn. Dolgu desenleri; Çizgi, Izgara, Eş Merkezli. İç doluluk oranları ise %20, %60 ve %100 olarak belirlenmiştir (Tablo 3).

Daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada; sıcaklık sabit tutularak, farklı hızlarda, farklı doluluk oranlarında ve farklı dolgu desenlerinde üretilmiş numuneler SHIMADZU marka test cihazı ile 2 mm/dk hızında çekilerek çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. HWMMT-X sertlik ölçme cihazında Vickers Sertlik Deney yöntemi kullanılarak yapılmıştır. 19614 mN’lik kuvvet uygulanarak gerçekleştirilen sertlik ölçme deneylerinde bekleme süresi 15 sn olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Taguchi metoduyla belirlenen deney numune sayısı ve özellikleri

Numune No	1. Değişken % Doluluk Oranı	2. Değişken Dolgu Deseni	3. Değişken Üretim Hızı mm/sn
1	20	Çizgi	20
2	20	Çizgi	40
3	20	Çizgi	60
4	60	Çizgi	20
5	60	Çizgi	40
6	60	Çizgi	60
7	100	Çizgi	20
8	100	Çizgi	40
9	100	Çizgi	60
10	20	Izgara	20
11	20	Izgara	40
12	20	Izgara	60
13	60	Izgara	20
14	60	Izgara	40
15	60	Izgara	60
16	100	Izgara	20
17	100	Izgara	40
18	100	Izgara	60
19	20	Eş Merkezli	20
20	20	Eş Merkezli	40
21	20	Eş Merkezli	60
22	60	Eş Merkezli	20
23	60	Eş Merkezli	40
24	60	Eş Merkezli	60
25	100	Eş Merkezli	20
26	100	Eş Merkezli	40
27	100	Eş Merkezli	60

### 3. Bulgular ve Tartışma

Farklı desen, doluluk oranları ve üretim hızlarına göre karşılaştırmalı olarak elde edilen Vickers sertlik değerleri Şekil 4'te, çekme dayanımı değerleri Şekil 5'te, uzama değerleri ise Şekil 6'da verilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalarla uyumludur. Başlıklar halinde açıklanacak olursa;

#### 3.1. Sertlik değerine etkisi

Sertlik değeriyle ilgili olarak, doluluk oranı arttıkça sertlik değerinin arttığı tespiti literatür tarafından da doğrulanmaktadır [16]. Böğrekci vd., farklı desen ve doluluk oranında PLA malzemeden üretilen numunelerden 100% doluluk oranına sahip 80 mm/sn hızında üretilen Linear desenli numunenin sertlik değeri 19,2 HV olarak ölçülmüştür. Bu değer, bu çalışmada yer alan 100% doluluk oranına sahip 60 mm/sn hızında Izgara desenli numunede ölçülen 19.1 HV sertlik değerine çok yakındır. Dolgu deseninin sertliğe etkisinin olduğu literatürde belirtilmiş olsa da [17],[18], bu çalışmada dolgu desenin değişiminin sertliğe anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun birkaç nedeni olabilir. Öncelikle 3B yazıcıların sunduğu desenlerdeki geometri farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada kullanılan desen geometrisi ile literatürde kullanılan desen geometrileri farklılık göstermektedir. Literatürde dolgu deseni olarak "linear, solid, rectangular, diamond, and hexagon" geometri desenlerin kıyaslandığı görülmüştür. Bu çalışmada ise "Linear, Grid, Concentric" desenleri kıyaslanmıştır. Baskı hızı olarak literatürde 60-150 mm/sn arasında değişen değerler tercih edildiği ve tüm numunelerde sabit tutulduğu görülmüştür [17],[18]. Bu çalışma da ise baskı hızları sabit tutulmayıp mekanik özelliklere etkisinin olup olmadığı anlaşılmaya çalışılmıştır. Deneysel sonuçları incelendiğinde baskı hızının da sertlik değerleri üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

#### 3.2. Çekme ve uzama değerlerine etkisi

Çekme ve uzama değerleriyle ilgili olarak, bu çalışmada %100 doluluk oranında mavi renkli PLA malzemeden üretilen çizgi desenli numunede ortalama 45 MPa, ızgara desenli numunede ise ortalama 46 MPa çekme dayanımı ölçülmüştür. Dolgu yüzdesi arttıkça çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Literatürde yer alan çalışmalarda da durum böyledir [19]. Wittbrodt vd., farklı renklerde PLA malzeme ile farklı nozul sıcaklıklarında hazırladıkları numunelere çekme testi uygulamışlar, 200°C'de Izgara desenli dolgu biçiminde bastıkları %100 doluluk oranındaki (mavi renkli numunelerle çok yakın değerler elde ettikleri) beyaz renkli PLA'da max. 53.97 MPa'lık çekme dayanımı tespit etmişlerdir [20]. Tymrak vd. ise farklı 3B yazıcılar ve bu yazıcılara ait (ancak

çalışmalarında özellikle belirtmedikleri) değişkenlere göre, bu çalışmadaki benzerlik açısından sadece çapraz ve doğrusal desenli PLA malzemeden ürettikleri numuneler dikkate alındığında doğrusal desenli numunede ortalama 54.9 MPa, çapraz desenlide ise ortalama 52.3 MPa çekme dayanımı elde ettikleri görülmüştür [21]. Dolgu desenindeki değişimin saf PLA'dan mamul ürünlerde çekme dayanımına anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda bu durum belirtilmiştir [22]. Literatürdeki deney şartları ile bu çalışmadaki deney şartlarının birebir aynı olmadığı dikkate alınacak olursa, çekme deneyleri sonuçları açısından bu çalışmanın literatür ile tutarlı olduğu görülmektedir. Uzama değerleri üzerine; üretim hızının, dolgu deseninin ve dolgu yüzdesinin çok anlamlı olmasa da kısmen bir etkisinin olduğu görülmüştür. Bazı numunelerde dolgu desenleri aynı olduğunda, doluluk oranı arttıkça ve üretim hızı azaldıkça uzama değerinin azaldığı görülmüştür. Bu sonuca göre PLA malzemesinin, dolgu oranı arttıkça ve üretim hızı azaldıkça daha fazla ısıya maruz kalması nedeniyle gevreklediği, bunun sonucunda da uzama değerinin bir miktar azaldığı sonucuna varılmıştır. Bu durum sertlik değerlerindeki artış ile paralellik arz ettiği görülmüştür. Gevreklenen malzeme aynı zamanda da sertleşmiştir. Bu konuda Pillin vd. yaptıkları çalışmada, PLA'nın içerisinde bulunan monomerinin zaman içinde sertleşmeye neden olacak şekilde malzeme yüzeyine göç ettiklerini tespit etmişlerdir [23].

Deneysel sonuçlarının tam anlamlandırılmaması ve sonuçların çok değişkenlik gösterebildiğine dair tespitlere literatürde yer verildiği görülmüştür. Evlen vd., nişasta kökenli olan PLA malzeme ortam koşullarından etkilendiğini, oksijenle temas süresi arttıkça nem almakta ve dolayısıyla da mukavemet değerleri değişiklik gösterebildiğini, ürün basılmadan önce gerekli olan ön kurutma işleminin yeterli gerçekleştirilmemesinden kaynaklandığı belirtilmiştir [24]. Ayrıca baskı işleminin kapalı veya açık ortamda yapılmasının tüm mekanik özellikleri etkilediğini belirtmişlerdir [25].

#### 3.3. Doğrulama deneyleri

Yapılan testlerin güvenilirliğini kontrol etmek için, en yüksek sertlik değerine sahip numune ile çekme dayanımı en yüksek olan numuneden birer adet daha üretilerek doğrulama deneyleri yapılmıştır. Doğrulama deneyleri sonuçlarına göre bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerin güvenilir olduğu teyit edilmiştir (Şekil 3).

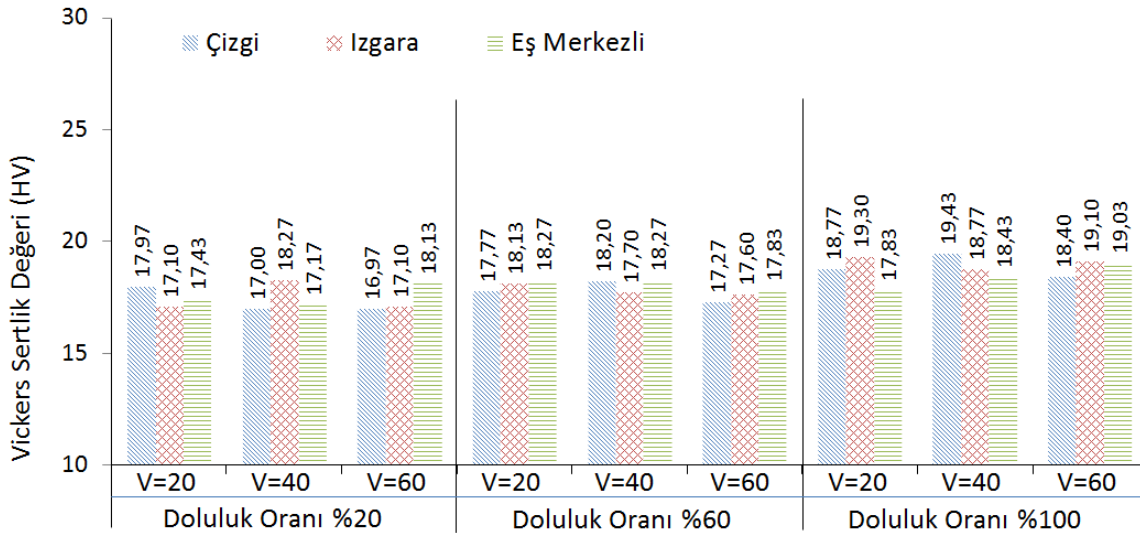
Sertlik doğrulama deneyi sonuçları

	Doluluk Oran (%)	Dolgu Deseni	Üretim Hızı (mm/sn)	Uygulanan Kuvvet (mN)	Ölçüm 1 (VSD)	Ölçüm 2 (VSD)	Ölçüm 3 (VSD)	Ortalama (VSD)
İlk Deney	100	Çizgi	40	19614	19.60	19.30	19.40	19.43
Doğrulama Deneyi	100	Çizgi	40	19614	19.20	19.30	19.20	19.23

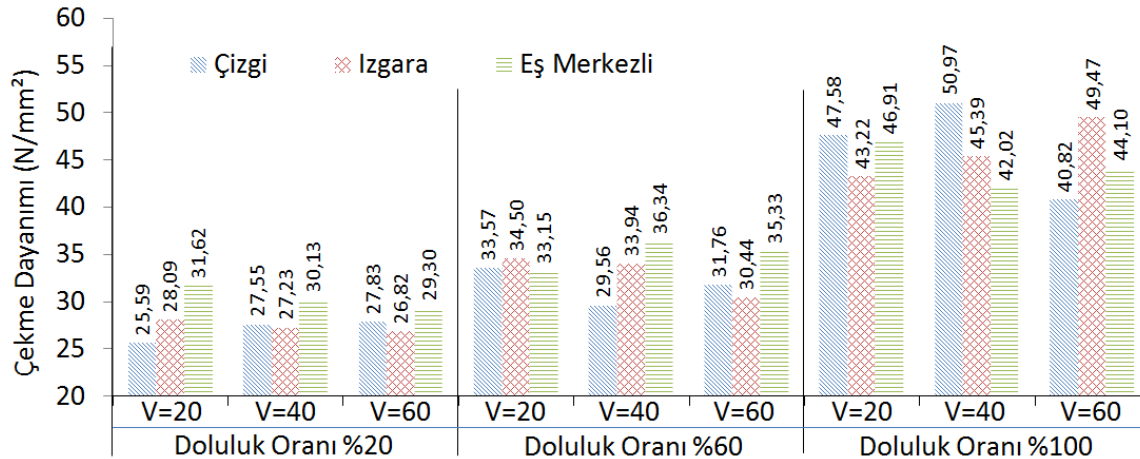
Çekme dayanımı doğrulama deneyi sonuçları

	Doluluk Oran (%)	Dolgu Deseni	Üretim Hızı (mm/sn)	Max. Kuvvet (N)	Max. Uzama (mm)	Max. Yüzde Uzama (%)	Max. Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )
İlk Deney	100	Çizgi	40	1223.24	1.41	4.29	50.97
Doğrulama Deneyi	100	Çizgi	40	1144.33	1.26	3.84	47.68

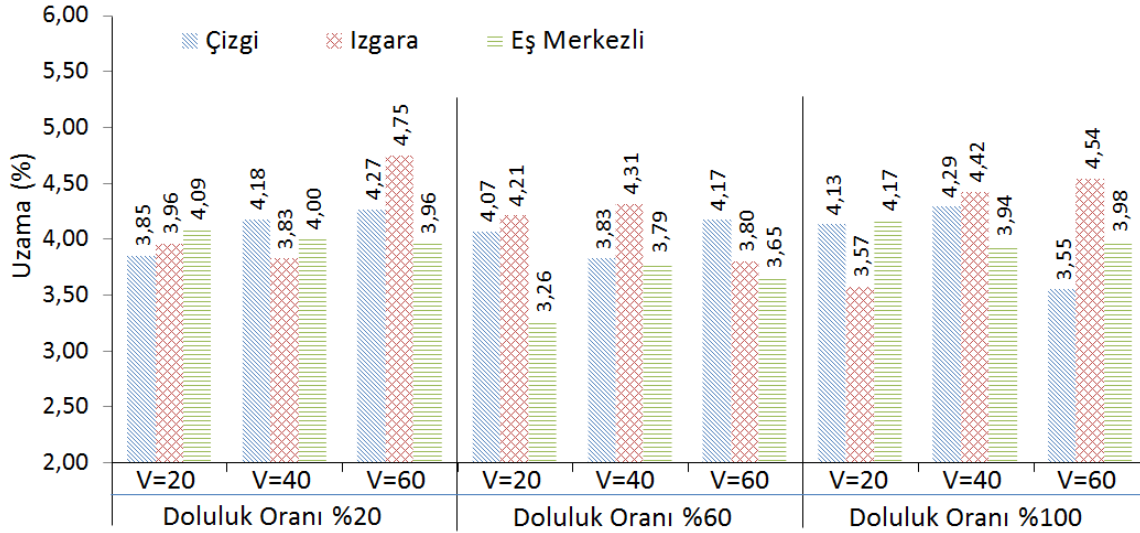
Şekil 3. Doğrulama deneyleri sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4. Farklı desen, doluluk oranları ve üretim hızlarına göre elde edilen Vickers sertlik değerleri



Şekil 5. Farklı desen, doluluk oranları ve üretim hızlarına göre elde edilen çekme dayanımı değerleri



Şekil 6. Farklı desen, doluluk oranları ve üretim hızlarına göre elde edilen uzama değerleri

#### 4. Sonuçlar

Bu deneysel çalışma aşağıda maddeler halinde verilen sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

1-Bu çalışmada kullanılan 3B yazıcı özelliklerinde bulunan Çizgi (line), Izgara (Grid), Eş Merkezli (Concentric) olarak tanımlı dolgu deseni değişkeninin sertlik, uzama ve çekme mukavemeti açısından anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

2-Dolgu desenleri aynı olup, doluluk oranı arttıkça ve üretim hızı azaldıkça sertlik değerinin arttığı görülmüştür.

3- Literatürde tespit edilen üretim hızları en düşük 60 mm/sn, en yüksek 150 mm/sn arasında değişen değerlerdedir. Bu çalışmada tercih edilen (20, 40, 60 mm/sn) üretim hızlarının sertlik, uzama ve çekme mukavemeti açısından anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

4-PLA malzemesi kullanılarak yapılacak çalışmalarda, deney numunelerine ön kurutma işleminin yapılması, 3B yazıcının kapalı bir kabininin olması deney sonuçlarının güvenilirliği açısından önemlidir.

#### Kaynaklar

[1] ASTM F2792e12a, Standard terminology for additive manufacturing technologies, West Conshohocken: ASTM International, 2012.  
 [2] Yalçın B, Ergene B. Endüstride Yeni Eğilim Olan 3-B eklemeli imalat yöntemi ve metalurjisi. *SDÜ Uluslararası Teknoloji Bilimi Dergisi*, 9(3), 65-88, 2017.

[3] Marcincinova LN, Marcincin JN, Barna J, Torok J. Special materials used in FDM rapid prototyping technology application, *Proceedings of IEEE 16th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, Lisbon, 73-76, 2012.  
 [4] Gibson I, Rosen D, Stucker B. *Additive manufacturing technologies 3D printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing*, Second edition, Springer, 2015.  
 [5] Sezer HK, Eren O, Börklü HR, Özdemir V. Karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin ergiyik biriktirme yöntemi ile eklemeli imalatı: fiber oranı ve yazdırma parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2), 663-674, 2019.  
 [6] Çelik İ, Karakoç F, Çakır MC, Duysak A. Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31, 53-70, 2013.  
 [7] Edgar J, Tint S. Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, *Johnson Matthey Technology Review*, 59(3), 193-198, 2015.  
 [8] Tuan DN, Kashania A, Imbalzano G, Nguyena KTQ, Huib D, Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges, *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196, 2018.  
 [9] Ergene B, Sekeroğlu İ., Bolat Ç, Yalçın. B. An experimental investigation on mechanical performances of 3D printed lightweight ABS pipes with different cellular wall thickness, *Journal of Mechanical Engineering And Sciences*, 15(2), 8169-8177, 2021.

- [10] ExOne, <https://www.exone.com/en-US/Resources/case-studies/what-is-binder-jetting> (Erişim Tarihi: 11.06.2021).
- [11] Khoshnevis B. Automated construction by contour crafting—related robotics and information Technologies, *Automation in Construction*, 13 (1), 5-19, 2004.
- [12] MakeItFrom.com, <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide> (Erişim Tarihi: 14.06.2021).
- [13] ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee. West Conshohocken, 2014.
- [14] Taguchi G. *Taguchi on Robust Technology Development Methods*, ASME Press, New York, 1-40, 1993.
- [15] Koca N, *Dolgu maddeli polimer malzemelerin taguchi yöntemi ile performans optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [16] Bögrekci İ, Demircioğlu P, Sucuoğlu HS, Turhanlar O, The effect of the infill type and density, *International journal of 3d printing technologies and digital industry*, 3:3, 212-219, 2019.
- [17] Sucuoğlu HS, Bögrekçi İ, Demircioğlu P, Gültekin A, The Effect of Three Dimensional Printed Infill Pattern on Structural Strength, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(3), 785-796, 2018.
- [18] Harpool TD, *Observing the effects of infill shapes on the tensile characteristics of 3d printed plastic parts*, MSc Thesis, Wichita State University, USA, 2016.
- [19] Evlen H, Özdemir MA, Çalışkan A, Doluluk oranlarının PLA ve PET malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkileri, *Politeknik Dergisi*, 22(4), 1031-1037, 2019.
- [20] Wittbrodta B, Pearcea JM. The effects of PLA color on material properties of 3-D printed components, *Additive Manufacturing*, 8, 110–116, 2015.
- [21] Tymrak BM, Kreiger M, Pearce JM. Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions, *Materials and Design*, 58, 242–246, 2014.
- [22] Kaygusuz B, Özerinç S. 3 Boyutlu yazıcı ile üretilen PLA bazlı yapıların mekanik özelliklerinin incelenmesi *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 16(1), 1-6, 2018.
- [23] Pillin I, Montrelay N, Grohens Y. Thermo-mechanical characterization of plasticized PLA: Is The Miscibility The Only Significant Factor?. *Polymer*. 47(13), 4676-4682, 2006.
- [24] Akkurt S, Abs Plastiklerinin çekme kopma mukavemeti üzerine tavlama sıcaklığının etkisi, *Erciyes Üniversitesi Bilim Dergisi*, 3, 516-525, 1987.
- [25] Evlen H, Erel G, Yılmaz E, Açık ve kapalı sistemlerde doluluk oranının parça mukavemetine etkisinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 21(3), 651-662, 2018.

Orijinal Makale/Research Article

## İki tekerlekli denge araçları için geribeslemeli doğrusallaştırma tabanlı denetleyici tasarımı

Emrah UZUN<sup>1</sup>, Okan BİNGÖL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

İki tekerlekli kendini dengeleyebilen araç  
Geribeslemeli doğrusallaştırma  
Kutup atama yöntemi  
LQR

### Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 24.10.2021  
Kabul Tarihi: 27.12.2021

**Öz:** Her geçen gün gelişmekte olan dünyada, insan nüfusunun artışı ve şehirlerin büyümesiyle beraber küçük ve ekonomik olan kişisel ulaşım araçları daha popüler hale gelmektedir. Motosikletler son yarım yüzyılda oldukça kullanışlıydı ve buna alternatif olarak yeni yüzyılda iki tekerlekli denge araçlarının (İTDA) sayısı hızla artmaya başlamıştır. İnsan taşımacılığının yanında farklı versiyon ve eklentilerle endüstriyel alanlardan askeri alanlara kadar İTDA'larının kullanım aralığı gittikçe artmaktadır. Bu çalışma kapsamında iki tekerlekli kendini dengeleyen mobil bir aracın denetimi gerçekleştirilmiştir. Aracın matematiksel modelleri enerji tabanlı Lagrangian yöntemi ile dinamik ve durum uzay denklemleri olarak oluşturulmuştur. İki tekerlekli denge aracı SOLIDWORKS çizim ortamında 3 boyutlu olarak tasarımı gerçekleştirilmiş ve MATLAB/SIMULINK ortamına aktarılmıştır. Araç MATLAB/SIMULINK ortamında hazırlanan denetleyiciye bağlanarak 3 boyutlu ortamda denetimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ters sarkaç sisteminin eğim ve konumunu izleyebilmek için 2 boyutlu simülasyonu da gerçekleştirilmiştir. Aracın denetiminde konumunun yanında denge açısının, sol/sağ dönüş açısı ve hızının denetimi gerçekleştirilmiştir. Bu denetimler esnasında motorlara aktarılması gereken enerji miktarı sürünme enerjileri dâhil edilerek verilmiştir. İki tekerlekli denge aracının denetimi için tam durum Geribeslemeli doğrusallaştırma, Kutup Atama ve Lineer Kuadratik Regülatör denetim metotları kullanılmıştır. Kullanılan denetleyici metotlarının konum, denge açısı, hız ve motor tork değişimlerinin grafikleri verilerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda Kutup atama yönteminin aynı şartlarda Geribeslemeli doğrusallaştırma ve Lineer Kuadratik Regülatör'den daha hızlı yanıt verdiği görülmüştür.

### Atıf için/To Cite:

Uzun E. Bingöl O. İki Tekerlekli Denge Araçları İçin Geribeslemeli Doğrusallaştırma Tabanlı Denetleyici Tasarımı. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(2), 69-80, 2021.

## With feedback linearization based controller design for two wheeled stability vehicles

### Keywords

Two Wheeled Self Balancing Vehicle  
Feedback Linearization  
Pole Assignment Method  
LQR

### Article history:

Received: 24.10.2021  
Accepted: 27.12.2021

**Abstract:** In the developing world, small and economical personal transportation vehicles are becoming more popular with the increase of human population and the growth of cities. Motorcycles have been very useful in the last half century, and alternatively, the number of two-wheeled balancing vehicles (TWBV) has started to increase rapidly in the new century. In addition to human transportation, the range of use of TWBVs from industrial areas to military areas with different versions and add-ons is increasing. In this study, a two-wheeled self-balancing mobile vehicle was controlled. The mathematical models of the vehicle were created as dynamic and state space equations with the energy-based Lagrangian method. The two-wheeled balance vehicle was designed in 3D in the SOLIDWORKS drawing environment and transferred to the MATLAB/SIMULINK environment. The vehicle was connected to the controller prepared in MATLAB/SIMULINK and controlled in 3D environment. In addition, a 2D simulation of the inverted pendulum system has been carried out to monitor the tilt and position. In the control of the vehicle, besides its position, the balance angle, left/right turning angle and speed were controlled. The amount of energy that needs to be transferred to the motors during these inspections is given by including the friction energies. Full state feedback linearization, Pole Placement and Linear Quadratic Regulator control methods are used for the

control of the two-wheeled balance vehicle. Comparisons of the control methods used were made by giving the graphs of the position, balance angle, speed and motor torque changes. In the comparisons made, it was observed that the pole assignment method gave a faster response than the Feedback linearization and Linear Quadratic Regulator under the same conditions.

## 1. Giriş

21. yüzyılın başlarında ulaşım aracı olarak kullanılmaya başlanan iki tekerlekli denge araçları (İTDA) paralelinde literatür çalışmalarında mevcut olan ters sarkaç modeline de farklı bir bakış açısı kazandırmıştır. İki tekerlekli mobil robotlar genellikle gövde yanlarına eklenmiş birbirine paralel iki tekerlek ve bir ters sarkaç modelinden oluşur. Kararsız yapısı ve doğrusal olmayan matematiksel modeli ile ters sarkaç modeli temelinde geliştirilen iki tekerlekli denge araç çalışmaları, üzerinde birçok kontrol teorisinin çalışmasına katkı sağlayan klasik bir denetim düzeneği olması bakımından akademik araştırmaların da ilgisini çekmiştir. İTDA 'larının ulaşım, robotik, hizmet, otomotiv gibi çeşitli sektörlerdeki kullanım çeşitleri üniversite, araştırma enstitüleri ve özel şirketler tarafından tasarlanmış ve geliştirilmeye devam etmektedir.

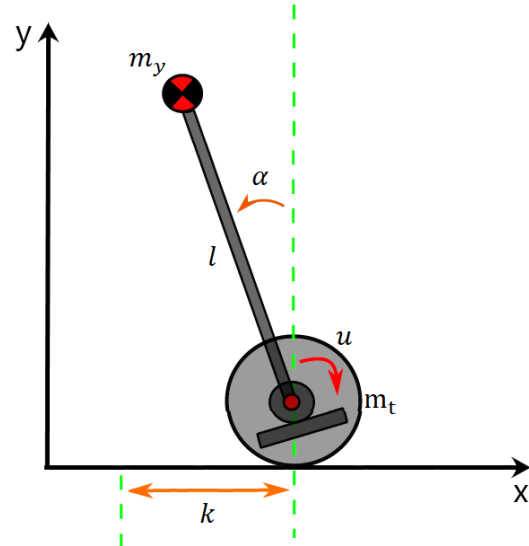
İki tekerlekli denge araçlarının denetim amacı, kararsız bir yapıya sahip olan dik duruş pozisyonunu dengede tutarken istenilen konuma gitmesi için tekerleklerin hareketini sağlamaktır. İTDA için denetleyici tasarımı, doğrusal olmayan yapısı ve holonomik olmayan kısıtlamalar sebebiyle zorlu bir iştir. Ayrıca, sadece iki denetim girişi ile denetlenecek dört konfigürasyon değişkenine sahiptir. Literatürde otonom kentsel ulaşım sistemi için akıllı araç [1], çift sarkacın optimum kontrolü [2], yapay bağışıklık ve parçacık sürü optimizasyonu ile denetim algoritmaları [3], geribeslemeli doğrusallaştırma [4,5], kayma kipli denetim [6-9], holonomik dinamik analizi [10], oransal-integral ve birleştirilmiş kayma kipli denetim [11-14], kısmi geribeslemeli doğrusallaştırma [15], PI-PD denetim [16], PID denetim [17], yapay sinir ağı denetimi [18] ve bulanık mantık (fuzzy logic) denetimi [19] gibi çalışmalar iki tekerlekli denge araçları üzerinde uygulanmıştır.

Bu çalışmada İTDA için geribeslemeli doğrusallaştırma ile geliştirilen denetleyici, LQR ve Kutup Atama denetim metotları ile karşılaştırmış ve performansları değerlendirilmiştir. Ayrıca 2 ve 3 boyutlu simülasyonları ile beraber denetleyici performanslarının İTDA'na yansımaları izlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Sistemin Matematiksel modelleme

Bu çalışmada geribeslemeli doğrusallaştırma ile kontrolcüsünü tasarlayacak olduğumuz İTDA'nın ters sarkaca benzer ilişkisinin matematiksel modellemesini yapabileceğimiz örnek bir şekli aşağıdaki gibidir. Ters sarkaçtan farklı olarak denetim girdisi yatay eksen kuvveti şeklinde değil motor mili, yani gövde tekerlek arasındaki açı ilişkisindedir.



Şekil 1. İki tekerlekli denge aracının matematiksel modellenme görünüşü

$m_y$  yükün ağırlık merkezinin kütlesi,  $m_t$  tekerleklerin ve gövdenin kütlesi,  $l$  yükün ağırlık merkezinin tekerlek merkezine uzaklığı,  $k$  sistemin konumu,  $\alpha$  gövde tekerlek arasındaki açı,  $b$  tekerlekler arası mesafe,  $u$  tekerlek motoruna uygulanan tork miktarı,  $\dot{k}$  hız,  $\dot{\alpha}$  açısal hız,  $\ddot{k}$  ivme,  $\ddot{\alpha}$  açısal ivme,  $s_1$  yol üzerindeki sürtünme,  $s_2$  gövde teker arası sürtünmelerin toplamı (veya motor kayıpları toplamı olarak ta alınabilir.),  $T$  sistemin kinetik enerjileri toplamı,  $P$  sistemin potansiyel enerjileri toplamı olmak üzere Şekil 1'de verilen sistemin ters sarkaç ilişkisinin matematiksel modellemesi Lagrange (1) yöntemine dayanarak verilebilir.

$$L = T - P \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{2}(m_t+m_y)\dot{k}^2 + \frac{1}{2}m_y\dot{k}^2 - m_y l \dot{\alpha} k \cos\alpha + \frac{1}{2}m_y l^2 \dot{\alpha}^2 - m_y g l \cos\alpha \quad (2)$$

Sistemin Lagrange denkleminde hareket denklemini çıkartmak için Euler-Lagrange eşitliğine yazıldığında sistemin hareket denklemi

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) = E(q)u \quad (3)$$

standart formuna sokarak hem dinamik denklem modellemesi  $\dot{x} = F(x) + G(x)u$  hem de durum uzay modellemesi  $\dot{x} = Ax + Bu$  haline getirilebilir.

$$M(q) = \begin{bmatrix} m_t+m_y & -m_y l \cos\alpha \\ -m_y l \cos\alpha & m_y l^2 \end{bmatrix}, \quad \ddot{q} = \begin{bmatrix} \ddot{k} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$V(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} m_y l \dot{\alpha}^2 \sin\alpha \\ -m_y g l \sin\alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_1 \dot{k} \\ s_2 \dot{\alpha} \end{bmatrix}, \quad E(q) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

(3) ve (4) denklemlerini

$$\begin{bmatrix} m_t+m_y & -m_y l \cos\alpha \\ -m_y l \cos\alpha & m_y l^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{k} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_y l \dot{\alpha}^2 \sin\alpha \\ -m_y g l \sin\alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_1 \dot{k} \\ s_2 \dot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \quad (6)$$

biçiminde düzenlendiğinde sistemin hareket denklemi olarak gösterilebilir.

### 2.2. Sistemin Dinamik denklem modellemesi

$$x = \begin{bmatrix} q \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k \\ \alpha \\ \dot{k} \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$q$  sistemin bağlı olduğu parametreler ve  $x$  durum vektörü olmak üzere dinamik denklem formu

$$\dot{x} = F(x) + G(x)u = \begin{bmatrix} \dot{k} \\ \dot{\alpha} \\ -M(q)^{-1}V(q, \dot{q}) \\ M(q)^{-1}E(q) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ M(q)^{-1}E(q) \end{bmatrix} u \quad (8)$$

olarak verilebilir. Denklem 8' in açılımı Ek A' da verilmiştir. Dinamik denklem üzerinden denetleyici tasarlamak için denklemi

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{k} \\ \dot{\alpha} \\ \ddot{k} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{k} \\ \dot{\alpha} \\ f_1(x) \\ f_2(x) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g_1(x) \\ g_2(x) \end{bmatrix} u \quad (9)$$

olarak ifade edildiğinde

$$f_1(x) = \begin{bmatrix} \dot{k} \\ \dot{\alpha} \\ -m_y^2 l^3 \dot{\alpha}^2 \sin\alpha + m_y^2 l^2 g \sin\alpha \cos\alpha - m_y l^2 s_1 \dot{k} - m_y l \cos\alpha s_2 \dot{\alpha} \\ (m_t+m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2\alpha \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$f_2(x) = \begin{bmatrix} \dot{k} \\ \dot{\alpha} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$f_2(x)$  Ek B' de verilmiştir.

$$g_1(x) = \frac{m_y l \cos\alpha}{(m_t+m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2\alpha} \quad (12)$$

$$g_2(x) = \frac{m_t+m_y}{(m_t+m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2\alpha} \quad (13)$$

olarak bulunur

### 2.3. Sistemin Durum uzay modellemesi

Lagrange denklemi, herhangi mekanik bir sistemin uzayda nasıl hareket edeceğini hesaplayabileceğimiz bir enerji denklemdir. Bu enerji denkleminin zamana göre türevi bize hareket denklemini verir. Sistemin kuvvet altında nasıl hareket edeceğinin matematiksel olarak gösterimlerinden biriside durum uzay modellemesidir. Bunun için hareket denklemlerinin  $\dot{x} = Ax + Bu$  ve  $y = Cx + Du$  formunda tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlama sistemin doğrusal forma sokulmasını zorunlu kılmaktadır. Doğrusallaştırma için  $\dot{\alpha} = \dot{k} = 0$  ve  $\sin\alpha = \alpha$ ,  $\cos\alpha = 1$  olarak kabul edilebilir.

(6) nolu hareket denklemi yukarıdaki kurallara dayanarak doğrusallaştırıldığında,

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{k} \\ \dot{\alpha} \\ \ddot{k} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} \quad (14)$$

olmak üzere  $\dot{x} = Ax + Bu$  formunda

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{gm_y}{m_t} & -\frac{s_1}{lm_t} & -\frac{s_2}{lm_t} \\ 0 & \frac{g(m_y+m_t)}{lm_t} & -\frac{s_1}{lm_t} & -\frac{s_2(m_y+m_t)}{m_y m_t l^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k \\ \alpha \\ \dot{k} \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} \quad (15)$$

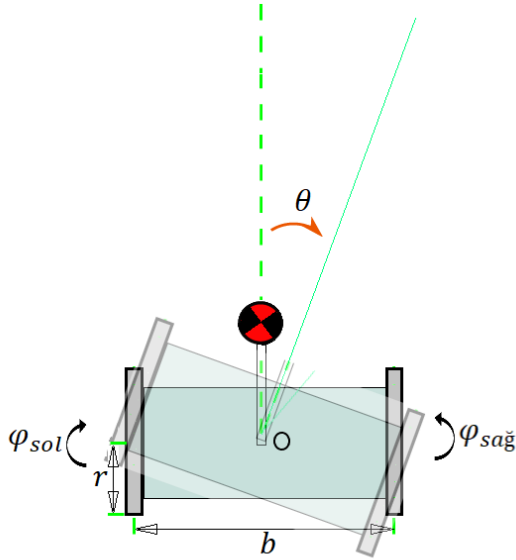


$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \frac{1}{m_t} \\ 1 \\ \frac{1}{lm_t} \end{bmatrix} u$$

olarak ifade edilebilir.

#### 2.4. Sistemin Dönüş modellemesi

İTDA'nın merkezi sabit tutacak şekilde tekerleklerin birbirlerine göre ters dönmesi ile Şekil 2'deki gibi dönme hareketini gerçekleştirmektedir. Bu nedenle sürüş esnasında dönmek için bir tekere pozitif olarak verilen açı diğerine negatif olarak verilmiştir.



Şekil 2. İTDA'nın merkez etrafında dönüşü

Şekil 2' deki gibi sistemin sağa veya sola dönme anında  $r$  tekerlek yarıçapı,  $\varphi_{sağ}$  sağ tekerin ileri yönde dönme açısı,  $\varphi_{sol}$  sol tekerin ileri yönde dönme açısı,  $b$  tekerlekler arası mesafe olmak üzere  $u_{sağ}$  sağ motorun tork miktarı,  $u_{sol}$  sol motorun tork miktarı olmak üzere, sağ ve sol motorun bu dönme işlemini gerçekleştirebilmesi için gerekli olan tork miktarı,

$$u_{sağ} = -s_1 * Y - s_2 \varphi_{sağ} \quad (16)$$

$$u_{sol} = s_1 * Y + s_2 \varphi_{sol} \quad (17)$$

$\varphi_{sol}$  ve  $\varphi_{sağ}$ , tekerleklerin kendi etrafındaki dönüş hareketini temsil etmekte ve sistemin tamamen  $\theta$  kadar dönmesi için sağ ve sol tekere verilmesi gereken açı miktarı

$$\varphi_{sol} = \frac{b\theta}{2r} \quad (18)$$

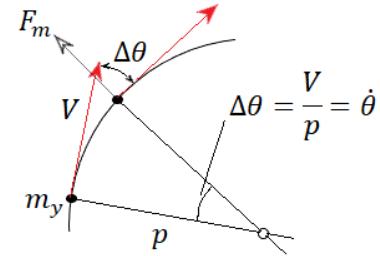
ve

$$\varphi_{sağ} = \frac{-b\theta}{2r} \quad (19)$$

olarak bulunmuştur.

#### 2.5. Sistemin Sağ/sol eğim modellemesi

Dönme esnasında savrulmayı engellenmek için tekerleklere verilecek olan eğim ile sistem dengede tutulmaya çalışılmaktadır. Eğim sayesinde yükün yerçekimi bileşeni ile merkez kaç kuvvetinin dengelenmesi amaçlanmaktadır. Dönme esnasında dönme miktarına göre oluşacak olan merkez kaç kuvveti Şekil 3'deki gibi modellenmiştir [20].



Şekil 3. İTDA'nın dönme esnasındaki savrulma modeli

$F_m$  dönme esnasındaki merkez kaç kuvveti,  $\Delta\theta$  sistemin dönüş açısındaki değişim,  $m_y$  yük ağırlık merkezinin kütlesi,  $V$  sistemin hızı,  $p$  sistemin sağ sol dönme esnasında çizdiği varsayılan çember yarı çapı olmak üzere çemberin açısal hızı ile dönme miktarındaki değişim eşittir [20]. Merkez kaç kuvveti klasik formülüne göre

$$F_m = m_y(\Delta\theta)^2 p \quad (20)$$

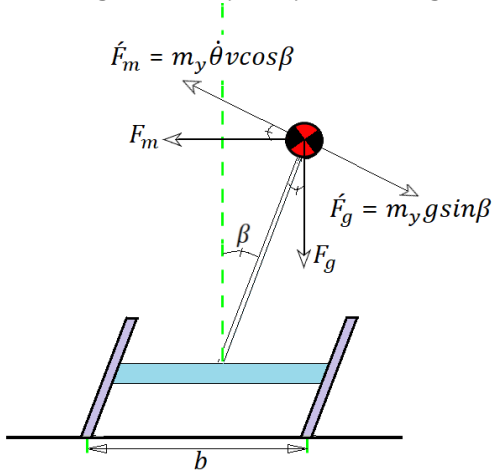
olarak verilebilir.

Dönme esnasında oluşacağı varsayılan çemberin yarıçapı merkez kaç kuvvetini belirlemede ana etkenlerden birisidir. Fakat dönüş açısı sabit olmadığı için dönerken kurulacak olan çemberin de yarıçapı devamlı olarak değişmektedir. Bunun için merkez kaç

kuvvetinin büyüklüğü yarı çapı ( $p$ ) değişkenine göre değil (19)'daki gibi dönüş açısına ( $\theta$ ) bağlı olmalıdır.

$$F_m = m_y \dot{\theta} V \quad (21)$$

İTDA'na arkadan bakıldığında dönme esnasında oluşacak olan merkez kaç kuvvetini dengeleyebilmek için  $\beta$  kadar eğim verilmiş hali Şekil 4'deki gibidir.



Şekil 4. İTDA'nın dönüş esnasındaki eğim modellemesi

Kullanıcı kütlelerinin ( $m_y$ ) yerçekimi kuvvetinin dik bileşeni ( $F'_g$ ) ile merkez kaç kuvvetinin dik bileşeni ( $F'_m$ ) eşit olduğu sürece İTDA dengede kalmaktadır.

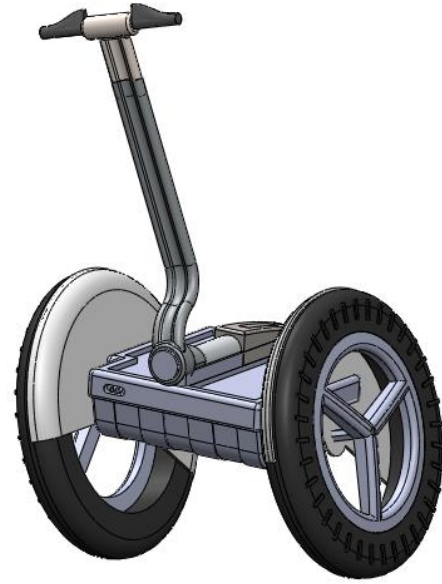
$$\beta = \arctan\left(\frac{\dot{\theta} V}{g}\right) \quad (22)$$

olarak sistemi dengede tutacak eğim miktarı verilebilir.

## 2.6. Sistemin 3 Boyutlu görünüm modelleme

İTDA'nın 3D modelleme için Matlab SimMechanic-SolidWorks uyumu kullanılmıştır. SolidWorks ortamında çizilen parça, montaj ve montaj ilişkilerinin Matlab SimMechanic tarafından algılanabilmesi için Matlab SimSpace tarafından sunulan dosyalar işletim sisteminin kurulu olduğu diske indirilir ve kurulumu yapılır.

SolidWorks ortamında çizimi yapılan İTDA'nın montajlanmış hali Şekil 5'deki gibidir. Sağa-sola dönebilmesi için tekerlekler birbirinden bağımsız olacak şekilde montajı yapılmıştır. Ön-arka ve sağ-sol eğimi yapılabilen araç ileriki çalışmalarda uygulamalı olarak kullanılabilmesi için motor, akü vb. diğer ayrıntı bölmeleri de ölçülü bir şekilde yapılmış fakat içerisi boş bırakılmıştır.



Şekil 5. İTDA'nın SolidWorks ortamında 3 boyutlu görünümü

## 2.7. Kullanılan Denetim Metotları

Bu çalışmada tasarlanan İTDA'nın geribeslemeli Doğrusallaştırma, Kutup Atama Yöntemi ve LQR denetleticileri ile ters sarkaç denge sorunu, sağa sola dönüş ve eğim denetimi üzerinde çalışılmıştır.

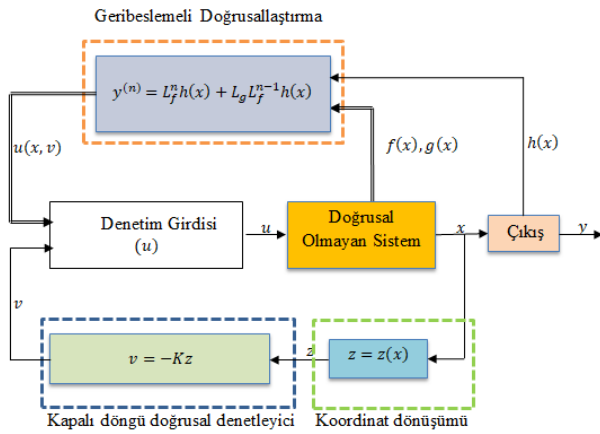
### 2.7.1. Geribeslemeli doğrusallaştırma

Geribeslemeli doğrusallaştırma doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde kullanılacak ideal bir yaklaşımlardan bir tanedir. Yaklaşımın ana fikri, doğrusal olmayan bir sistem dinamiğini cebirsel olarak (tamamen veya kısmen) doğrusal forma dönüştürmektir. Böylece doğrusal denetim teknikleri uygulanabilir. Geribeslemeli doğrusallaştırma, dinamiklerin doğrusal yaklaşımlarından daha çok kesin durum dönüşümleri ve geri besleme ile elde edilir. Orijinal sistem modellerini daha basit eşdeğer bir modele dönüştürmesi olarak görülebilir.

Geribeslemeli doğrusallaştırma ile denetleyici tasarlanmanın iki çeşit yöntemi vardır. Bunlar Giriş-Durum Doğrusallaştırma ve Giriş-Çıkış Doğrusallaştırma metotlarıdır. Giriş-Durum Doğrusallaştırma da denetim girdisi için çıktı, sistemin kendisini referans alır bir başka ifadeyle sisteme doğrusallaştırma dönüşümünü yaparak çıkış ile sistem arasında doğrusal bir ilişki kurar ve çıkışı referansa iletmeye çalışır. Giriş-Çıkış Doğrusallaştırma da ise

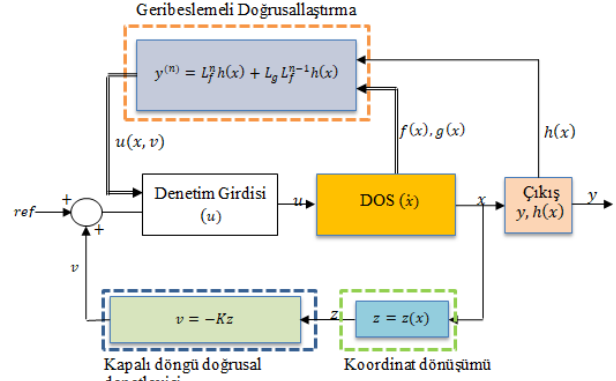
sistemin denkleminde ziyade giriş ile çıktı arasında doğrusallaştırma dönüşümünü yaparak doğrusal bir ilişki kurar. Giriş-Çıkış Doğrusallaştırma daha çok bağıl derecesi üçüncü derece ve üstü için tercih edilir.

Bu çalışmada kararlılığı ve güvenilirliği yüksek olduğu için Giriş-Durum Doğrusallaştırma yöntemi ile tek girişli doğrusal olmayan bir denetim girdisi ( u ) tasarlama problemi üzerine gidilmiştir. Yöntem bu sorunu 2 adımda çözmektedir. İlki bir  $u = u(x, v)$  formunda durum dönüşümü (yani kısmi geribeslemeli doğrusallaştırma), ikincisi  $z = z(x)$  koordinat dönüşümüdür. Böylece doğrusal olmayan sistem dinamikleri, eşdeğer bir doğrusal zamanla değişmeyen dinamikler haline getirilir[21]. Bu dönüşümler Şekil 6'da blok diyagramı olarak verilmiştir.



Şekil 6. Geribeslemeli doğrusallaştırma ve koordinat dönüşümü ile doğrusal olmayan sistemin kapalı döngü denetim blok diyagramı

Şekil 6'da gözüktüğü gibi geribeslemeli doğrusallaştırma doğrusal olmayan sisteme bir durum dönüşümü uygulayarak, normal formda gösterilebilecek yeni durum değişkenleri üretir ve sistemde oluşan doğrusalsızlıkları ortadan kaldırmaya çalışmaktadır. Geribeslemeli doğrusallaştırmada durum dönüşümü sistemin dinamik denklemleri ile çıktı arasında doğrusal bir bağ kurmaktır. Bunun için devamlı olarak dinamik denklemin çıktıya göre iç içe kısmi türevini Lie türevi yoluyla sistemi doğrusal forma dönüştürülür. Elde edilecek eşdeğer doğrusal sistem bir kapalı döngü doğrusal denetleyici ile denetlenebilir. Doğrusal sisteme uygulanacak kapalı döngü denetim için durumun koordinat dönüşümü yapılır. Dönüştürülmüş sistem, orijinal sistemin eşdeğer bir temsili olduğundan emin olmak için, dönüşümün diffeomorf olması gerekir. Diğer bir deyişle, dönüşüm ters çevrilebilir ve tersi de eşdeğer olmalıdır, böylece orijinal sistemdeki değişiklikler yeni sistemde de korunabilir.



Şekil 7. İTDA'nın geribeslemeli doğrusallaştırma ile referans hedefli denetimi

Geribeslemeli denetim girdisi Şekil 7'de olduğu gibi,

$$u = \frac{1}{g_1(x)} (-\dot{k}f_1(x) + (-k_1z_1 - k_2z_2 + ref)) \quad (23)$$

şekline dönüşmüş oldu. Burada bulunan  $g_1$  (10) denkleminde,  $f_1$  (9) denkleminde ve  $z_1, z_2$  de  $k$  ve  $\dot{k}$  den alınarak denetim girdisi,

$$u = \frac{-1}{m_y l \cos \alpha} \frac{(m_t + m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2 \alpha}{\left( \dot{k} \frac{-m_y^2 l^3 \dot{\alpha}^2 \sin \alpha + m_y^2 l^2 g \sin \alpha \cos \alpha - m_y l^2 s_1 \dot{k} - m_y l \cos \alpha s_2 \dot{\alpha}}{(m_t + m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2 \alpha} + k_1 k + k_2 \dot{k} - ref \right)} \quad (23)$$

olarak sistemi dengede tutacak motor girdisi verilebilir.

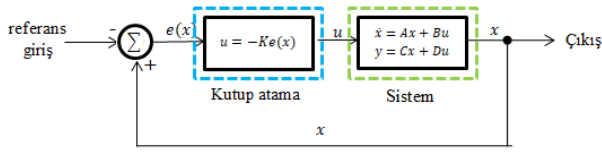
### 2.7.2. Kutup atama ile denetim metodu

$\dot{x} = Ax + Bu$  şeklinde durum kapalı çevrim sistemi ve  $x = x_0$  başlangıç koşulları ile zamanla değişmeyen doğrusal bir sistemin kararlı olduğu aralık root locus ile bulunmuştur. Sistemin denetim girişi  $u = -Kx$  şeklinde durum geri besleme formunda tanımlı olduğu kapalı çevrim sistem dinamiği  $\dot{x} = (A - BK)x$  formuna dönüşür ve burada  $K$  kazancının uygun seçimi ile sistemin kararlılığı garanti edilir. Şöyle ki;

$$\det[sI - (A - BK)] = (s - \mu_1)(s - \mu_2) \cdots (s - \mu_n) = 0 \quad (24)$$

olmalıdır. Burada  $\mu_1 \cdots \mu_n$  istenen kök yerlerini göstermektedir. Bu kökler aşağıda olduğu gibi Matlab programı yardımı ile bulunmuştur. Oluşturulan referans ile gerçek durum arasındaki fark hata olarak

belirlenip K katsayısı ile çarpılarak sistem denetim girdi (u) haline getirilmiştir.



Şekil 8. Kutup atama yöntemi ile denetleyici blok diyagramı

Root locus grafiğinden sistemin kararlı bölgede kutup noktası  $-3.14$  olarak seçilmiştir. Bu kutup noktasına göre oluşturulabilecek kapalı döngü denetim katsayısı K değeri örnek olarak matlab ortamında aşağıdaki gibi bulunabilir.

```
x0=[0;5*pi/180; 0;0]; % başlangıç koşulu
des_pole=[-3.14; -3.14;-3.14;-3.14];
K=acker(A,B,des_pole);
```

Böylelikle ortaya çıkan kapalı döngü denetim katsayısı K'nın değeri,

$$K=[-394.5, 3778,-510,9,1001]$$

olarak bulunmuştur.

### 2.7.3. LQR (lineer kuadratik regülatör) denetleyici

LQR tasarımı bir nevi kutup atama yöntemi üzerine kurulmuş gibi olup çok girişli çok çıkışlı sistemlerde gürültü ve kararlılık sorunlarını başarılı bir şekilde sağlamaktadır. Teoride atanacak olan kutbun ve denetim K katsayılarının en uygun parametreler olmasını amaçlamaktadır. Bu parametre değerlerinin belirlenmesinde durum matrisleri ve maliyet fonksiyonu kullanılır. Maliyet fonksiyonu, ağırlık matrisleri olarak bilinen Q ve R matrislerinin seçimi ile belirlenmektedir.

$\dot{x} = Ax + Bu$  şeklinde durum kapalı çevrim sistemi ve  $x = x_0$  başlangıç koşulları ile zamanla değişmeyen doğrusal bir sistemin denetim girişi  $u = -Kx$  şeklinde durum geri besleme formunda tanımlı olduğu, kapalı çevrim sistem dinamiği  $\dot{x} = (A - BK)x$  formuna dönüşür ve burada Klqr kazancı maliyet fonksiyonu temel alınarak yapılır. Şöyle ki maliyet fonksiyonu,

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (25)$$

denkleminde, R ve Q matrisi örnek 1 olarak seçildiğinde en uygun denetim kazancı,

$$Klqr = [-316 \ 4706 \ -588 \ 1317] \quad (26)$$

olarak bulunmuştur.

### 3. Bulgular

Bu çalışmada İTDA'nın denge sorunu için geribeslemeli doğrusallaştırma, Kutup Atama(pole placement) ve LQR denetleyici sistemleri geliştirilmiştir. En iyi performansı sağlayabilmek için kalıcı durum hatası, referans konuma oturma zamanı, denge açısındaki salınım süresi hızdaki ve açısal hızdaki değişimin iyileştirilme çalışması deneysel olarak kazançların değiştirilmesi suretiyle denetleyici performansı attırılmaya yönelik olmuştur. Bu denetleyicilerin dönüş ve eğim üzerine etkileri incelenmiş ve bu bölümde analiz edilmiştir.

Bütün bu yapılan kontrolcülerde konumun referansa oturma zamanı ile denge açısının maksimum salınım derecesi arasında ters ilişki bulunmaktadır. Örneğin İTDA referans konuma hızlı bir şekilde oturması istenildiğinde denge açısı ters yönde açı yaparak referansa en kısa sürede ulaşmaya çalışmakta ve buda salınıma neden olmaktadır. Kontrolcülerde kazanç değerleri akrasift veya nazik seçildiğinde konum, hız, salınım süresi, salının seviyesi gibi değerler birbirlerine göre farklı çıkmakta buda kontrolcülerin karşılaştırılması zorlaştırmaktadır. Bu çalışmanın uygulanabilirliği açısından ve denetleyicilerin karşılaştırılmasının etik olabilmesi için kazanç değerleri eğim(düşme) açısının maksimum seviyesi 30 derece olarak belirlenmiş ve diğer performans değerleri üzerinden karşılaştırma yapılmıştır.

#### 3.1. Geribeslemeli Doğrusallaştırma ile Denetleyici Benzetimi

Doğrusal olmayan sistem denklemi (dinamik denklem modellemesi) (8) de verilen ve Matlab Simulink ortamında tasarlanan İTDA'nın sistem parametre değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İTDA için sistem parametre değerleri

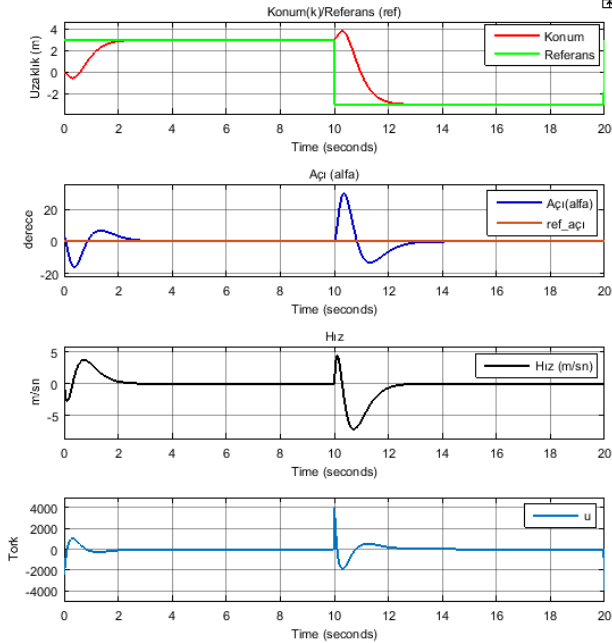
Parametre	Tanım	Değer
$m_y$	Yükün ağırlık merkezinin kütlesi	60.5 kg

$m_t$	Tekerleklerin ve gövdenin kütlesi	40.5 kg
$g$	Yer çekimi ivmesi	9.98 m/s <sup>2</sup>
$l$	Yükün ağırlık merkezinin gövde merkezine uzaklığı	1 m
$r$	Tekerlek yarıçapı	0.2 m
$b$	Tekerlekler arası mesafe	0.6 m
$s_1$	Tekerlek ile yer arasındaki sürtünme katsayısı	10
$s_2$	Motor ile gövde arasındaki sürtünme katsayısı	10

Geribeslemeli doğrusallaştırma ile tasarlanan denetleyicilerde kullanılan  $k_1, k_2$  denetim parametreleri deneme yanılma yoluyla en iyi performans

$$k_1=20.124 , k_2=8.423$$

olarak seçildiğinde, sistemi dengede tutabilmek için denetim girişi  $u$ , konumun referansı takip edişi, hızdaki değişim ve  $\alpha$  açısındaki değişim Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Geribeslemeli doğrusallaştırma ile denetlenen sistemin konum-referans, açı, hız, denetim girdisi( $u$ ) grafiği.

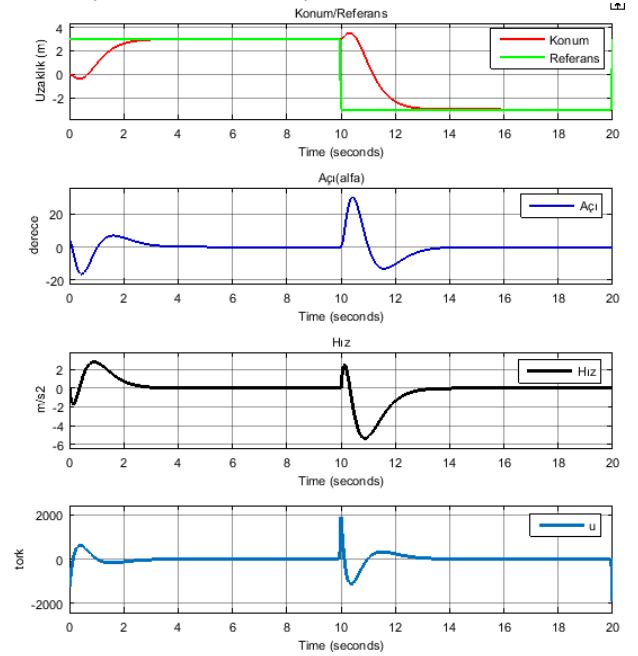
### 3.2. Kutup Atama Yöntemi ile Denetleyici Benzetimi

Durum uzay modellemesi denklem (15)'de verilen İTDA'nın Matlab Simulink ortamında verilen denklemlerle eşdeğer olarak tasarlanmıştır. Kutup atama ile denetleyici bölümünde tasarlanan sistemin parametre değerleri Tablo 1'e göre alınmıştır. Denetleyicinin kutup değeri root locus grafiğinden

2.988 olarak seçilmiştir. Bu kutup değerine göre oluşacak  $K$  geri besleme kazanç katsayıları,

$$K=[-323.4796 \quad 3483.4 \quad -441.7154 \quad 907.4243] \quad (27)$$

olarak çıkarılmıştır. İTDA'nı dengede tutabilmek için bir önceki denetleyiciye benzer olarak denetim girişi  $u$ , konumun referans, hız ve  $\alpha$  açısının grafikleri toplu olarak Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Kutup atama yöntemi ile denetlenen sistemin konum-referans, açı, hız, denetim girdisi( $u$ ) grafiği

### 3.3. LQR ile Denetleyici Benzetimi

Durum uzay modellemesi (15) de ve Matlab Simulink ortamında gösterimi Şekil 5'te verilen İTDA'nın sistem parametre değerleri Tablo 1'deki veriler baz alınarak LQR ile denetleyici benzetimi yapılmıştır. LQR Denetleyicinin  $Q$  ve  $R$  ağırlık değeri,

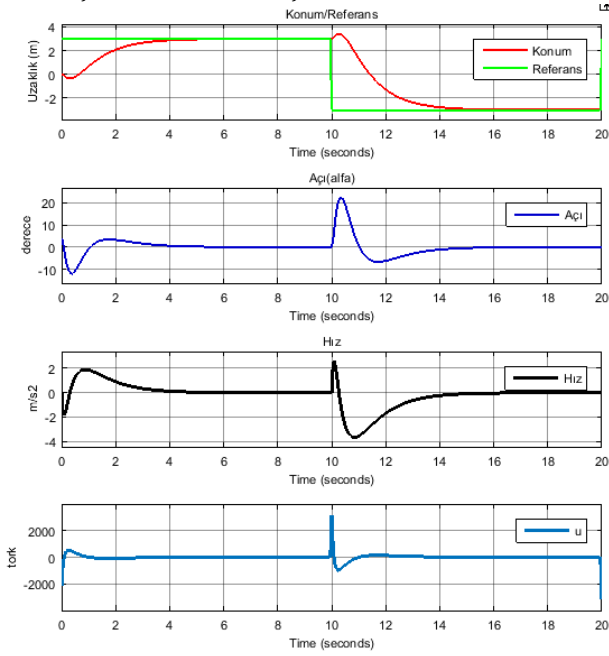
$$R = [0.034], \quad Q = \begin{bmatrix} 9500 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix} \quad (28)$$

olarak seçilmiştir. Bu seçilen  $Q$  ve  $R$  ağırlık değerlerine göre oluşacak  $K_{lqr}$  geri besleme kazanç katsayıları,

$$K_{lqr}=[-528.5941 \quad 6211,08 \quad -921.41 \quad 1766.79] \quad (29)$$

olarak çıkarılmıştır. İTDA'nı dengede tutabilmek için bir önceki denetleyiciye benzer olarak denetim girişi  $u$ ,

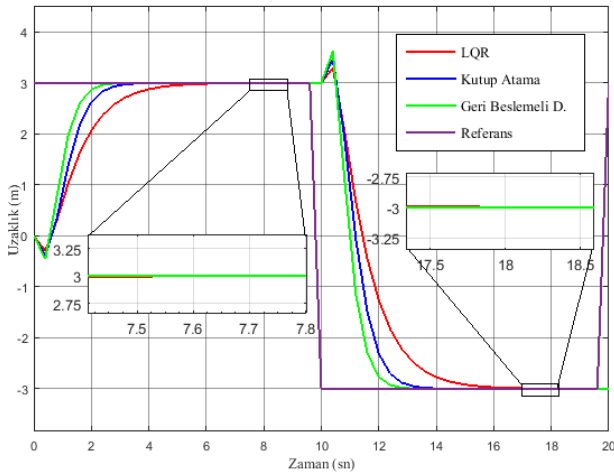
konumun referans, hız ve  $\alpha$  açısının grafikleri toplu olarak Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. LQR yöntemi ile denetlenen sistemin konum-referans, açı, hız, denetim girdisi(u) grafiği

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu bölümde kontrolörlerin birbirlerine göre üstünlükleri ve eksiklikleri araştırılmıştır. Bu karşılaştırmada denetleyicilerin Şekil 13’de verilen sistemin  $\alpha$  açıl salınımlarının ikinci referans ile beraber gelen maksimum eğim seviyesi(düşme açısı) 30 derece olacak şekilde ortak olarak ayarlanmıştır. Denetleyicilerin sistemi referans olarak istenilen konum ulaşmalarındaki performansları grafik olarak Şekil 12’de verilmiştir.



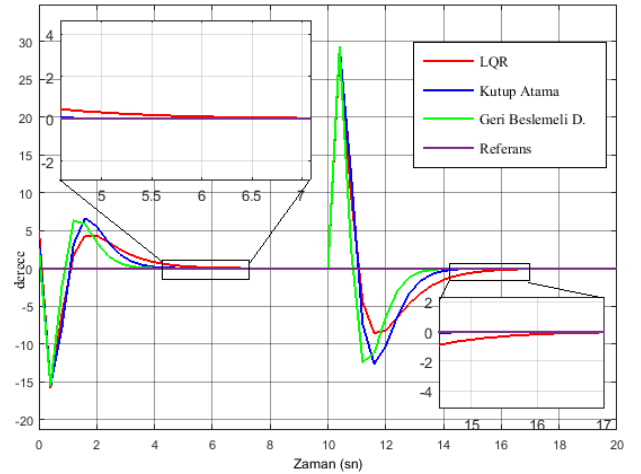
Şekil 12. Denetleyicilerin konumun değişimi

Denetleyicilerin 1. referans noktası (+3) ve 2. referans noktası (-3) konumuna göre vermiş olduğu cevabın dinamik performans kriterlerinin karşılaştırması Tablo 2’de verilmiştir. Aşma mesafesi referansa ilerlemeye başlamadan önceki geriye doğru yaptığı ters mesafedir.

Tablo 2. Denetleyicilerin konum denetim karşılaştırma sonuç tablosu

Metot	Performans İndeksi			
	1. Referans (+3)			
	Tr - %90- (Yükselme Zamanı)(sn)	Ts -%100- (Oturma Zamanı)(sn)	Aşma Mesafesi (cm)	Kalıcı Durum Hal Hata
LQR	3.2	4.8	29	0
Kutup Atama	2.1	3	38	0
Geribeslemeli D.	1.7	2.4	45	0
Metot	2. Referans (-3)			
	Tr - %90- (Yükselme Zamanı sn)	Ts -%100- (Oturma Zamanı sn)	Aşma Mesafesi (cm)	Kalıcı Durum Hal Hata
LQR	3.8	5.2	35	0
Kutup Atama	2.4	3.2	47	0
Geribeslemeli D.	1.9	2.6	67	0

LQR, kutup atama ve geribeslemeli doğrusallaştırma ile denetlenen İTDA’nın istenilen referans konuma giderken yaptıkları  $\alpha$  denge açısının değişim grafiği Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13. Denetleyicilerin  $\alpha$  açısının değişimi

LQR, Tablo 2 ‘de verildiği gibi referans konuma ulaşmada yükselme ve oturma zamanı bakımından en uzun süreye sahip olsa da Şekil 13’de görüldüğü gibi en az salınma sahip denetleyici olmuştur. Denetleyicilerin hareket esnasında Şekil 13’de verilen  $\alpha$  açı değişimine göre performanslarının karşılaştırma sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Denetleyicilerin denge açısı  $\alpha$  karşılaştırma sonuç tablosu

Metot	Performans İndeksi		
	1. Referans (+3)		
	Toplam Salınım Süresi(sn)	Salınım Derecesi	Ters Salınım Süresi(sn)
LQR	4.4	4.5	1.12
Kutup Atama	3.7	6.7	1.1
Geribeslemeli D.	2.9	6.6	0.9
Metot	2. Referans (-3)		
	Toplam Salınım Süresi(sn)	Salınım Derecesi	Ters Salınım Süresi (sn)
	LQR	4.8	-8.7
Kutup Atama	4.2	-13	1.1
Geribeslemeli D.	3.4	-12.8	0.9

İTDA'na konum olarak 1. referans noktası (+3m) verildiğinde;

- Geribeslemeli doğrusallaştırmanın yükselme zamanı 1.7sn iken Kutup Atama yöntemi 0.4sn ve LQR yöntemi ise 1.5sn geride kalmıştır.
- Hedefe hareketi esnasında denge açısında geribeslemeli doğrusallaştırma 2.9sn'lik salınım yaparak en fazla 6.6 derecelik eğime ulaşmıştır. Kutup Atama yöntemi ise 3.7sn'lik salınım yaparak en fazla 6.7 derecelik eğime ulaşmış ve LQR 4.4sn'lik salınım yaparak en fazla 4.5 derecelik eğime ulaşmıştır.
- Geribeslemeli doğrusallaştırmanın diğerlerinden daha düşük 0.9sn'lik ters salınım ile 45cm hedeften geriye doğru aşma mesafesi yaparak en hızlı olan 2.4sn'de oturma zamanına ulaşmıştır.
- Bunun yanında Kutup Atama yöntemi 1.1sn'lik ters salınım ve 38cm'lik aşma mesafesi yaparak 3sn'de hedefe %100 oturma yapmıştır. LQR 29cm'lik en kısa aşma mesafesini 1.12 sn 'de yaparak 4.8sn'de hedefe %100 oturma gerçekleştirmiştir.

İTDA'na konum olarak 1. referans (+3m) noktasında iken 2. referans noktası -3m verildiğinde;

- Geribeslemeli doğrusallaştırma en kısa ters salınım süresi 0.9sn'lik ters hareketle 67cm hedeften geriye doğru en uzak mesafeye gitmesine rağmen 1.9sn'lik yükselme zamanı ile 2.6sn'de hedefe %100 oturma gerçekleştirmiştir. Kutup Atama yöntemi 1.1sn'lik ters salınım ve 47sm'lik aşma mesafesi yaparak 3.2sn'de hedefe %100 oturma gerçekleştirmiştir.

LQR ise 45cm'lik en kısa aşma mesafesini 1sn 'de yaparak 5.2sn'de hedefe %100 oturma yapmıştır.

- -3m hedefine hareketi esnasında denge açısında geribeslemeli doğrusallaştırma 3.4sn'lik salınım yaparak en fazla -12.8 derecelik eğime ulaşmıştır. Kutup Atama yöntemi ise 4.2sn'lik salınım yaparak en fazla -13 derecelik eğim gerçekleştirmiş ve LQR 4.8sn'lik salınım yaparak en fazla -8.7 derecelik eğime ulaşmıştır.
- Yükselme zamanı geribeslemeli doğrusallaştırmanın 1.9sn iken Kutup Atama yöntemi 0.5sn ve LQR yöntemi ise 1.9sn geride kalmıştır. Hızlı yükseliş oturma zamanına da etki ederek geribeslemeli doğrusallaştırma 2.6sn de hedefe yerleştiğinde Kutup Atama yöntemi 0.6sn ve LQR 2.6sn geride kalmıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada; iki tekerlekli kendini dengeleyen mobil bir araç matematiksel modellemeleri, çizim ortamında 3 boyutlu tasarımı, denetleyici tasarımı ve Matlab ortamında 3 boyutlu denetimi gerçekleştirilmiştir. İki tekerlekli denge aracının denetleyicisi, üstündeki cisim veya kişiyi dengede tutarken istenilen yörüngeye ulaştırmaktadır. Bunun için aracın konumunun yanında denge açısının, sol/sağ dönüş açısı ve hızının denetimi gerçekleştirilmiş ve bu denetimler esnasında motorlara aktarılması gereken enerji miktarı sürtünme enerjileri dâhil edilerek verilmiştir. İTDA'nın denetleyici olarak doğrusal olmayan sistemler için kullanılan geribeslemeli doğrusallaştırma ve doğrusal sistemler için kullanılan Kutup Atama ve LQR denetim metotları kullanılmıştır. Kullanılan denetim metotlarının konum, denge açısı, hız ve motor tork değişimlerinin grafikleri verilerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda geribeslemeli doğrusallaştırmanın aynı şartlarda Kutup Atama yöntemi ve LQR 'den daha yüksek performans verdiği gözlemlenmiştir. Geribeslemeli doğrusallaştırma aşma mesafesi yüksek olmasına ve denge açısının diğerleriyle yaklaşık aynı olmasına rağmen hedef noktasına en hızlı ulaşan denetleyici olmuştur. LQR 'ün düşük enerji kullanımı olduğu ve performans açısından diğerlerinden en düşük seviyede kaldığı görülmüştür. Geribeslemeli doğrusallaştırma kişiyi istenilen konuma götürmede diğerlerinden daha hızlı olmasının yanında denge açısındaki bozulma fazla olmamıştır. Bu nedenle Segway tarzı ters sarkaç denge sistemlerinde oldukça kullanışlı olacağı görülmektedir. 3 boyutlu tasarımı gerçek boyutlara göre yapılan İTDA'nın ileriki çalışmalarda uygulaması önerilebilir. Geribeslemeli Doğrusallaştırma, LQR ve Kutup Atama yöntemine göre çok daha uzun matematiksel işlemler barındırdığından

işlemci kapasitesinin yüksek seçilmesi İTDA'nın tepki süresini doğrudan etkileyebilmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Baloh M., Vermeiron L., Dequidt A., Guerra M., (2003). Modeling and Model Verification of an intelligent self balancing two-wheeled vehicle for an autonomous urban transportation system, *Control Engineering Practice*, 19(7), 744-756, doi: 10.1016/j.conengprac.2011.04.002
- [2] Bogdanov A.,(2004) Optimal control of a double inverted pendulum on a cart, Oregon Health & Science University, School of Science and Engineering, [https://www.researchgate.net/publication/250107215\\_Optimal\\_Control\\_of\\_a\\_Double\\_Inverted\\_Pendulum\\_on\\_a\\_Cart](https://www.researchgate.net/publication/250107215_Optimal_Control_of_a_Double_Inverted_Pendulum_on_a_Cart).(Son erişim tarihi:01.07.2021)
- [3] Umay Y., (2018). İki tekerlekli kendini dengeleyen mobil bir aracın kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [4] Kiriz, S., (2008). Doğrusal olmayan ters sarkaç sisteminin tasarımı ve kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [5] Uzun, E., (2021). İki tekerlekli denge araçları için geribeslemeli doğrusallaştırma tabanlı denetleyici tasarımı. (Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- [6] Ha J. S. & Lee J. J., (2012). Position control of mobile two wheeled inverted pendulum robot by sliding mode control, 2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems, 715–719, IEEE.
- [7] Key, M. S., Jeon, C. G., Yoo, D. S., (2012). Sliding mode control for a two wheeled inverted pendulum mobile robot driving on uniform slopes, 2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems, 2159–2162, IEEE
- [8] Key, M. S., Jeon, C. G., Yoo, D. S., (2012). Sliding mode control for a two-wheeled inverted pendulum mobile robot driving on uniform slopes, içinde 2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems, ss. 2159–2162, IEEE.
- [9] Xu J. X., Guo Z. Q., Lee T. H., (2014). Design and Implementation of Integral Sliding-Mode Control on an Underactuated Two-Wheeled Mobile Robot, *IEEE Transaction Industrial Electronics*, 61(7), 3671–3681, doi: 10.1109/TIE.2013.2282594
- [10] Kim, Y., Kim, S. H., Kwak, Y. K., (2005). Dynamic Analysis of a Nonholonomic Two-Wheeled Inverted Pendulum Robot, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 44(1), 25–46. doi:10.1007/s10846-005-9022-4
- [11] Nawawi, S. W., Ahmad M. N., Osman, J. H., Husain, A. R., Abdollah, M. F., (2006). Controller Design for Two-wheels Inverted Pendulum Mobile Robot Using PISMC, 4th Student Conference on Research and Development, 4,194–199. doi:10.1109/SCORED.2006.4339337
- [12] Nawawi S. W., Ahmad, M. N., Osman J. H. S., (2010). Real-time control of a two wheeled inverted pendulum mobile robot, *World Academy of Science Engineering and Technology*, 39, 214–220, doi:10.5772/10362
- [13] Park M. S. & Chwa, D., (2009). Orbital Stabilization of Inverted-Pendulum Systems via Coupled Sliding-Mode Control, *IEEE Transaction Industrial Electronics*, 56(9), 3556–3570, doi: 10.1109/TIE.2009.2021178
- [14] Park M. S. & Chwa D., (2009). Swing-Up and Stabilization Control of Inverted Pendulum Systems via Coupled Sliding-Mode Control Method, *IEEE Transaction Industrial Electronics*, 56(9), 3541–3555. doi: 10.1109/TIE.2009.2012452
- [15] Pathak K., Franch J., Agrawal S.K. Velocity and Position Control of a Wheeled Inverted Pendulum by Partial Feedback Linearization, *IEEE Transaction Industrial on Robotics*, 21(3), 1552–3098 doi:10.1109/TRO.2004.839230
- [16] Peker F., Kaya İ., (2017). Ters sarkaç sisteminin PI-PD denetleyici kullanılarak kontrol edilmesi (Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [17] Ren T. J., Chen T. C., Chen C.-J., (2008). Motion control for a two-wheeled vehicle using a self-tuning PID controller, *Control Engineering Practice*, 16(3), 365–375. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2007.05.007>
- [18] Tsai C. C., Huang H. C. Lin S. C., (2010). Adaptive Neural Network Control of a Self-Balancing Two-Wheeled Scooter, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(4), 1420–1428. doi: 10.1109/TIE.2009.2039452
- [19] Xu J. X., Guo Z. Q., Lee T. H., (2013). Design and Implementation of a Takagi-Sugeno-Type Fuzzy Logic Controller on a Two-Wheeled Mobile Robot, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(12), 5717–5728, doi: 10.1109/TIE.2012.2230600.
- [20] Beer F. P. & Johnston E.R.(2007). Mühendisler için vektör mekaniği: Dinamik. ABD, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [21] Stoline E. J. & Li W., (2010). *Applied Nonlinear Control*, United States of America, Prentice-Hall, Inc.



**Ekler**

**Ek A. Sistemin dinamik denklemi**

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{k} \\ \dot{\alpha} \\ \frac{-m_y^2 l^3 \dot{\alpha}^2 \sin\alpha + m_y^2 l^2 g \sin\alpha \cos\alpha - m_y l^2 s_1 \dot{k} - m_y l \cos\alpha s_2 \dot{\alpha}}{(m_t + m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2\alpha} \\ \frac{-m_y^2 l^2 \dot{\alpha}^2 \sin\alpha \cos\alpha + (m_t + m_y) m_y g \sin\alpha - m_y l \cos\alpha s_1 \dot{k} - (m_t + m_y) s_2 \dot{\alpha}}{(m_t + m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2\alpha} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{m_y l \cos\alpha}{(m_t + m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2\alpha} \\ \frac{m_t + m_y}{(m_t + m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2\alpha} \end{bmatrix} u \tag{8.1}$$

**Ek B.  $f_2(x)$  denklemi**

$$f_2(x) = \frac{-m_y^2 l^2 \dot{\alpha}^2 \sin\alpha \cos\alpha + (m_t + m_y) m_y g \sin\alpha - m_y l \cos\alpha s_1 \dot{k} - (m_t + m_y) s_2 \dot{\alpha}}{(m_t + m_y)(m_y l^2) - m_y^2 l^2 \cos^2\alpha} \tag{11}$$

Derleme Makale/Review Article

## Türkiye’de eğitim alanında yapılan veri madenciliği ve yapay zekâ çalışmaları

Emine Aruğaslan<sup>1</sup>, Hanife Çivril<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Eğitimde yapay zekâ  
Uyarlanabilir öğrenme  
ortamları  
Zeki öğrenme sistemleri  
Eğitsel veri madenciliği  
Öğrenme analitikleri

### Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 13.11.2020  
Kabul Tarihi: 21.09.2021

**Öz:** Veri madenciliği ve yapay Zekâ teknikleri birçok alanda olduğu gibi eğitim alanında da uygulanmakta ve eğitim-öğretim faaliyetlerinde yenilikler sunmaktadır. Veri madenciliğinin ve yapay Zekânın eğitimde kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte bilimsel araştırmalar da yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de yapılan ve eğitimde veri madenciliği ve yapay Zekâ kullanımını ele alan çalışmaları incelemek ve bu konudaki eğilimleri tespit etmektir. Bu doğrultuda alanyazın taraması yapılmış ve veriler betimsel analizi yöntem ile analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılacak makaleleri belirlemek amacıyla TR Dizin, Dergipark ve Google Akademik tarama ve indeksleme motorlarında; eğitim, veri madenciliği, eğitsel veri madenciliği, öğrenme analitikleri, yapay zekâ, zeki öğrenme sistemleri, uyarlanabilir öğrenme ortamları gibi anahtar kelimeler temel alınarak taramalar yapılmış ve konuyla ilgili tam metin olarak ulaşılan makaleler incelemeye alınmıştır. Yapılan taramalar neticesinde toplam 112 adet makale çalışmaya dahil edilmiş ve bu makaleler, hazırlanan makale inceleme formu çerçevesinde analiz edilmiştir.

### Atıf için/To Cite:

Aruğaslan E. Çivril H. Türkiye’de Eğitim Alanında Yapılan Veri Madenciliği ve Yapay Zekâ Çalışmaları. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(2), 81-89, 2021.

## Data mining and artificial intelligence studies in the field of education in Turkey

### Keywords

Artificial intelligence in  
education  
Adaptive learning  
environments  
Intelligent learning  
environments  
Educational data mining  
Learning analytics

### Article history:

Received: 13.11.2020  
Accepted: 21.09.2021

**Abstract:** Data mining and artificial intelligence techniques are applied in the field of education as well as in many areas and offer innovations in education and training activities. With the widespread use of data mining and artificial intelligence in education, scientific research has been carried out on these issues. The aim of this study to examine studies on educational data mining and artificial intelligence use and to identify trends in this field. In this context, a literature review was made and the data were analyzed by descriptive analysis method. In order to determine the articles to be used in the study, researches were conducted with keywords such as education, data mining, educational data mining, learning analytics, artificial intelligence, intelligent learning systems, and adaptive learning environments in TR Index, Dergipark and Google Scholar searches and indexing engines and full text articles on the subject were examined. As a result of the searches, a total of 112 articles were included in the study and these articles were analyzed within the framework of the Article Review Form.

## 1. Giriş

Ağ teknolojilerinin ve güçlü veri toplama ve depolama araçlarının hızlı gelişiminin bir sonucu olarak her geçen gün pek çok alanda devasa büyüklükte verilerin toplandığı bir çağda yaşamaktayız [1][2]. Bu inanılmaz derecede büyüyen veri kümesini analiz etmek ve bu verileri bilgiye dönüştürmek günümüzde bir ihtiyaç

haline gelmekte ve bunun için ise güçlü ve çok yönlü araçlara gereksinim duyulmaktadır. Bu gereksinim, veri madenciliğinin doğmasını sağlamıştır [1]. Veri madenciliği, basitçe büyük ve karmaşık veri kümelerindeki yapıların ve modellerin keşfi olarak tanımlanmaktadır [3]. Veri madenciliğinin en kapsamlı tanımı Gartner Inc. tarafından “Veri madenciliği, örüntü tanıma teknolojilerinin yanı sıra istatistiksel ve

matematiksel teknikleri kullanarak, depolarda saklanan büyük miktarda veriyi eleyerek anlamlı yeni korelasyonları, modelleri ve eğilimleri keşfetme sürecidir.” şeklinde yapılmıştır [4].

Veri madenciliğinde bir dizi görev bulunmaktadır. Veri madenciliğinin bu görevleri, tahmin edici ve tanımlayıcı olarak iki kategoride gruplandırılabilir. Tahmin edici görevler, sınıflandırma, regresyon, zaman serisi analizi ve kestirimken, tanımlayıcı görevler kümeleme, özetleme, birliktelik kuralı ve sıra örüntüleridir [5]. Tanımlayıcı veri madenciliği görevleri, verilerin genel özelliklerini karakterize ederken; tahmin edici veri madenciliği görevleri, yeni bir veri kümesinin nasıl davranacağını tahmin etmek için mevcut veri kümesi üzerinde çıkarımlar gerçekleştirmektedir.

Veri madenciliğinin bankacılık, sigortacılık, pazarlama, tıp ve biyoloji, e-ticaret gibi pek çok alanın yanı sıra eğitim alanında da son yıllarda kullanıldığı görülmektedir. Eğitimde veri madenciliğinin kullanılması, eğitsel veri madenciliği ve öğrenme analitiği kavramlarını ortaya çıkarmıştır. Eğitsel veri madenciliği disiplinler arası bir araştırma alanıdır [6]. Farklı eğitim seviyelerindeki eğitim sürecinde yer alan kabul sistemleri, kayıt sistemleri, öğrenci bilgi sistemleri, öğrenme yönetim sistemleri gibi öğrenmeyi veya eğitimi destekleyen her türlü sistemden gelen verileri incelemeye ve faydalı bilgiler keşfetmeye odaklanmaktadır [6][7][8]. Öğrenme analitikleri ise keşfedilen bilgilerin öğrenme sürecine ilişkin iyileştirmelerde ve öğretim tasarımında kullanılması ile ilgilidir [9]. Eğitsel veri madenciliğindeki ve öğrenme analitiklerindeki analiz alanı, veriler, süreç ve hedefler oldukça benzerdir. Her iki alan da eğitim alanına odaklanır. Bununla birlikte, öğrenme analitiği için kullanılan teknikler eğitsel veri madenciliğinde kullanılan tekniklerden oldukça farklı olabilir. Eğitsel veri madenciliği, tipik veri madenciliği tekniklerinin (kümeleme, sınıflandırma, birliktelik kuralı gibi) uygulanmasına odaklanır. Öğrenme analitikleri ise veri madenciliği tekniklerine ek olarak, istatistiksel ve görselleştirme araçları veya sosyal ağ analizi teknikleri gibi diğer yöntemleri de içerir [10].

Yapay Zekâ ise, öğrenme, problem çözme ve örüntü tanıma gibi insan Zekâsıyla yaygın olarak ilişkili bilişsel problemleri çözmeye odaklanan bilgisayar bilimi alanı olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle insanlar gibi çalışabilen akıllı makineler yaratmak için yapılan çalışmadır. Eğitim alanı da yapay Zekâdan önemli ölçüde etkilenmektedir. Günümüzde farklı eğitim seviyelerinde öğretim robotları, akıllı destek sistemleri, uyarlanabilir öğrenme sistemleri gibi çeşitli yapay Zekâ uygulamaları kullanılmaktadır [11].

Son yıllarda dünyada eğitim alanında veri madenciliği ve yapay zekâ konusunda yapılan çalışmaların arttığı bilinmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de eğitimde veri madenciliği ve yapay Zekâ kullanımını konusundaki mevcut durumu ortaya koymak amaçlanmış ve alanyazın taraması yapılarak bu konuları ele alan çalışmalar incelenerek eğilimler tespit edilmeye çalışılmıştır.

### *1.1. Eğitsel Veri Madenciliği ile İlgili Yapılan Benzer Çalışmalar*

Eğitsel veri madenciliği ile ilgili alanyazın taraması yöntemini kullanarak mevcut durumu ortaya koymak amacıyla yapılan bazı çalışmalar mevcuttur. Baker ve Yasef (2009), çalışmalarında eğitim amaçlı veri madenciliğinin nasıl geliştiğini ve eğitimde veri madenciliği araştırmalarındaki bazı ana eğilimlerin neler olduğunu araştırmıştır [12]. Mohamad ve Tasir (2013), çalışmalarında veri madenciliğinin önceki akademisyenler tarafından nasıl ele alındığını ve eğitim araştırmalarında veri madenciliğindeki en son eğilimleri incelemiştir [13]. Papamitsiou ve Economides (2014), öğrenme analitiği ve eğitsel veri madenciliği konusundaki mevcut durumu ve bunların öğrenme üzerindeki etkisini anlamak amacıyla 2008-2014 yılları arasında yayınlanan deneysel durum çalışmalarını incelemiştir. Yayınlanan çalışmaların araştırma sorularını, yöntemini ve bulgularını analiz ederek çalışmaları gruplandırmıştır [14]. Shahiri ve AbdulRashid (2015), öğrenci performansını analiz etmede kullanılan değişkenleri tanımlamak ve öğrencilerin performansını tahmin etmek için kullanılan tahmin yöntemlerini incelemek amacıyla sistematik ilişkisel alanyazın taraması yapmıştır [15]. Sin ve Muthu (2015), çalışmalarında eğitimde büyük veri teknolojilerinin uygulamalarını incelemekte ve eğitsel veri madenciliği ve öğrenme analitiği ile ilgili mevcut literatürün bir incelemesini sunmaktadır [16]. Sukhija, Jindal ve Aggarwal (2015), çalışmalarında 2001-2015 yılları arasında yayınlanan çeşitli çalışmaların sonuçlarını inceleyerek eğitsel veri madenciliğinin gelişimini resmetmiştir [17]. Dutt, Ismail ve Herawan (2017), kümeleme algoritması ve kümeleme algoritmasının eğitsel veri madenciliği bağlamında uygulanabilirliği ve kullanılabilirliği konusunu ele alan ve 1983-2016 arasında yayınlanan çalışmaları inceleyerek sistematik alanyazın taraması yapmıştır [18]. Kumar, Singh ve Handa (2017), eğitimde veri madenciliğinin farklı tahmin teknikleri arasındaki farkı anlamak ve analiz etmek, öğrenci performansını tahmin etmek için kullanılan farklı öğrenci özelliklerini ve farklı tahmin tekniklerini belirlemek ve anlamak için sistematik alanyazın taraması yapmıştır [19]. Tekin ve Öztekin (2018), çalışmalarında 2006-2016 yılları arasında eğitsel veri madenciliği ile ilgili yayınlanmış olan çalışmaları incelemiş ve eğitim alanındaki veri

madenciliği konusunda güncel eğilimleri araştırmışlardır [20].

### 1.2. Yapay Zekâ ile İlgili Yapılan Benzer Çalışmalar

Eğitimde yapay Zekânın kullanımı ile ilgili alanyazın taraması yöntemini kullanarak mevcut durumu ortaya koymak amacıyla yapılan bazı çalışmalar mevcuttur. Chassignola, Khoroshavin ve Klimova (2018), çalışmalarında yapay teknolojilerinin çalışma sürecine olası etkisini belirlemek ve eğitim ortamındaki olası değişiklikleri tahmin etmek amacıyla alanyazın taraması yapmış ve yapılan çalışmaları özelleştirilmiş eğitim içeriği, yenilikçi öğretim yöntemleri, teknolojiyle geliştirilmiş değerlendirme, öğrenci ve öğretim görevlisi arasındaki iletişim olmak üzere dört kategoride incelemiştir [21]. Zawacki-Richter vd. (2019), 2007-2018 yılları arasında yayımlanan ve yükseköğretimde yapay Zekâ uygulamaları üzerine yapılan çalışmaları incelemiştir. Sonuçları profil oluşturma ve tahmin, ölçme ve değerlendirme, uyarlanabilir sistemler ve kişiselleştirme, akıllı eğitim sistemleri başlıkları altında sunmuştur [22]. Chen, Chen ve Lin (2020), yapay Zekânın eğitim üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla alanyazın taraması yapmıştır [23].

## 2. Yöntem

Bu çalışmada, eğitimde veri madenciliği ve eğitimde yapay Zekâ konularını ele alan çalışmaları inceleyerek mevcut durumu ortaya koymak ve eğilimleri tespit etmek amacıyla betimsel analiz yöntemi kullanılmıştır. Yıldırım ve Şimşek (2011)’e göre; betimsel analiz nitel verilerin işlenerek elde edilen bulguların tanımlanması ve yorumlanması adımlarından oluşur [24]. Alanyazın taraması yapılarak ulaşılan çalışmaların seçimi için birtakım ölçütler belirlenmiştir ve bu ölçütleri sağlayan çalışmalar betimsel analize tabii tutulmuştur. Bu çalışma, Türkiye’deki mevcut durum ve eğilimleri incelediği için yayınların çalışmaya dahil edilebilmesi için Türkiye’de yayınlanan dergilerde bulunan ve tam metin olarak ulaşılabilen makale olması bir ölçüt olarak belirlenmiştir. Bir diğer ölçüt ise yayınlanan çalışmaların doğrudan eğitim alanında veri madenciliği ve yapay Zekâ konularına odaklanıyor olmasıdır.

### 2.1. Veri Toplama Araçları

Eğitimde veri madenciliği ve yapay Zekâ konularını ele alan çalışmaları incelemek için kapsamlı bir alanyazın taraması yapılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda belirlenen ölçütler göz önünde bulundurularak elektronik ortamda yayınlanan makalelere ulaşmak için TR Dizin, Dergipark ve Google Akademik tarama ve indeksleme motorları kullanılmıştır. Tarama yapılırken eğitim, veri madenciliği, eğitsel veri madenciliği,

öğrenme analitikleri, yapay zekâ, zeki öğrenme sistemleri, uyarlanabilir öğrenme ortamları gibi anahtar kelimeler kullanılmıştır. Tarama sonucunda çalışmaya 112 makale dahil edilmiştir. Makalelerin analiz edilebilmesi için araştırmacılar tarafından Microsoft Excel paket programı kullanılarak bir “Makale İnceleme Formu” hazırlanmıştır. Bu formda “basım yılı”, “yazarların unvanları”, “araştırmacının kurumu”, “çalışma konusu”, “çalışma grubu (örneklem)”, “eğitim kademesi”, “veri toplama araçları” ve “anahtar kelimeler” sütunları oluşturulmuştur. Eğitimde veri madenciliği çalışmalarının analizi için ise forma “modelleme yöntemleri”, “veri analiz yöntemleri” ve “kullanılan araçlar” sütunları eklenmiştir.

### 2.2. Veri Analizi

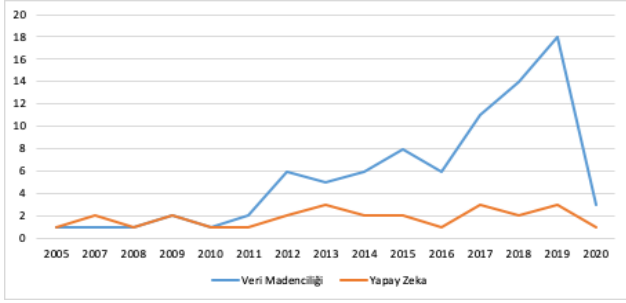
Bu çalışmada verilerin analizi için betimsel analiz kullanılmıştır. Hazırlanan Makale inceleme formu çerçevesinde çalışmaya dahil edilen bütün makaleler her iki araştırmacı tarafından ayrı ayrı analiz edilmiştir. Ortaya çıkan bulgular karşılaştırılarak incelenmiş ve araştırmacılar arasında tutarlılık sağlanmıştır. Analizlerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla bir uzman tarafından çalışmaların değerlendirilmesi istenilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen bulgular, tanımlayıcı istatistikler (yüzde ve frekans) kullanılarak sunulmuştur. Bulgular; tablo, grafik ve şekillerle görselleştirilmiştir.

## 3. Bulgular

Bu çalışmada yapılan taramalar neticesinde veri madenciliği (85) ve yapay Zekâ (27) ile bağlantılı olduğu düşünülen toplam 112 adet makaleye yer verilmiş ve tüm incelemeler bu makaleler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

### 3.1. Genel Bilgiler

Bu bölümde çalışmada yer alan makalelere ait basım yılları incelendiğinde aşağıdaki gibi bir tablo ile karşılaşılmıştır. Grafik 1 incelendiğinde yıllara göre özellikle veri madenciliği konularını içine alan çalışmaların 2010 yılı itibari ile giderek arttığı söylenebilir.



Grafik 1. Çalışmada yer alan makalelerin konularına göre basım yıllarının dağılımı\*

\*Veriler 2020 yılının Şubat ayına kadar olan çalışmaları kapsamaktadır.

112 adet çalışmayı yapan araştırmacıların çalıştığı kurumlara bakıldığında neredeyse tamamına yakını yükseköğretim kurumları oluşturmuştur. Yükseköğretim kurumları dışında Akademiler, MEB'e bağlı okullar ve verilerin Türkiye'den toplandığı yurtdışındaki eğitim kurumları oluşturmaktadır. Toplamda 241 araştırmacı bu makalelerde görev almış ve en fazla 6 yazarlı olacak şekilde çalışmalar yapılmıştır.

### 3.2. Eğitimde Veri Madenciliği İle İlgili Çalışmalar

Eğitimde Veri Madenciliği konusunu ele alan 85 adet makale incelendiğinde aşağıdaki gibi bir tablo ile karşılaşmıştır (Tablo 1). Çalışmaların yapılma amaçlarında en çok göze çarpan konunun %49,4 ile "öğrenci başarıları" olduğu görülmüştür. İkinci sırada veri madenciliği konuları içerisinde yine önemli yer tutan "Öğrenme analitikleri" gelmektedir.

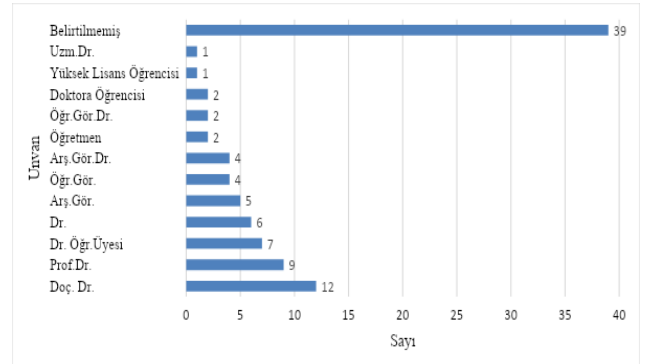
Tablo 1. Eğitimde veri madenciliği çalışma konuları

Eğitimde Veri Madenciliği Çalışma Konuları	f	%
Öğrenci başarıları	42	49,4
Öğrenme analitikleri	7	8,2
Eğitmen performansları	5	5,9
Teorik çalışmalar	4	4,7
Öğrenci verilerinin sınıflandırılması	3	3,5
Öğrenme stilleri	3	3,5
E-öğrenme riskleri	3	3,5
Devam/devamsızlık	2	2,4
Sosyal ağlar	2	2,4
Web Tabanlı Eğitim	2	2,4
Profillerinin belirlenmesi	2	2,4
Öğrenme ortamı hakkında görüşlerin incelenmesi	2	2,4
Program müfredatlarının karşılaştırılması	2	2,4
Siber zorbalık	1	1,2
Sanal laboratuvar	1	1,2
OBS sisteminin kullanılabilirliği	1	1,2
Eylem öğrenme sürecinin okul yöneticileri karar vermelerine etkisi	1	1,2
Öğrenci velilerinin güvenli İnternet kullanımı farkındalığı	1	1,2
Büyük veri	1	1,2
Genel Toplam	85	100

Öğrenci başarılarını konu alan eğitimde veri madenciliği çalışmaları detaylandırıldığı; öğrenci başarılarının değerlendirilmesi, öğrenci başarılarına etki eden faktörler, öğrenci başarılarının artırılması, öğrenci başarılarına etki eden ÖYS (Öğrenme Yönetim Sistemleri) etkinlikleri, ÖSYM verilerinin öğrenci başarısına etkileri, bilgisayar okuryazarlığı, lise mezuniyetlerinin fakültelerle olan ilişkisi gibi konular karşımıza çıkmaktadır.

Öğrenme ortamlarındaki hareketlerin analiz edilerek incelenmesini hedef alan ve son yıllarda popüler hale gelen "öğrenme analitikleri" çalışmaları da veri madenciliği ile ilgili araştırılan makalelerde diğer çalışma konularına oranla yüksek bir paya sahiptir. Teorik çalışma konuları araştırmacıların veri madenciliğini temel alarak yaptıkları belirli bir alandaki araştırmaları inceledikleri konulardan oluşmaktadır.

Çalışmaları yapan araştırmacıların unvanları incelendiğinde 85 çalışmada, 94 kişi görev almış ve makalelerdeki dergi formatı gereği unvan bilgisi çoğunlukla paylaşılmamış ve grafikte de "belirtilmemiş" olarak verilmiştir (Grafik 2). Unvan belirtilen çalışmalarda en çok "Doç.Dr." unvanına sahip öğretim elemanları yer almıştır.



Grafik 2. Araştırmacıların unvanları

Eğitimde veri madenciliği üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında %89,7'lik dilimi öğrenci gruplarının oluşturduğu görülmektedir (Tablo 2). Bu sonuç eğitim çalışmalarında beklenen bir durumdur. Eğitim seviyelerine göre akademisyenleri ve öğretmenleri hedef alan çalışmaların oldukça az sayıda olduğu görülmüştür. Akademisyenleri içeren çalışmalar genellikle eğitmen performansları konularında yapılmış olup, veli ve yöneticileri ilgilendiren çalışmalar ise bir konudaki farkındalık tespitinin veri madenciliği yöntemleri ile yapılması üzerinedir.

Tablo 2. Çalışma grupları

Çalışma Grubu	f	%
Öğrenci	61	89,7
Akademisyen	2	2,9
Genel (Web taramalarına katılanlar)	1	1,5
Üstün Yetenekli Öğrenciler	1	1,5
Öğretmen	1	1,5
Veli	1	1,5
Yönetici	1	1,5
Genel Toplam	68	100

Eğitimde yapılan çalışmaların konu içerikleri ve çalışma gruplarının yanı sıra eğitimin hangi kademesinde bu sürecin tamamlandığı bilgisi de önem arz etmektedir. Bu çalışmadaki eğitim kademeleri incelendiğinde aşağıdaki gibi bir sonuçla karşılaşmıştır (Tablo 3). Yükseköğretim kurumları, araştırma yapan kurumların başında gelmektedir. Bu sebeple yükseköğretim kurumlarının elde edilen sonuçlar içerisinde en üstünde yer alıyor olması beklenen bir durumdur. Bunun yanı sıra MEB bünyesinde de çalışmalar çoğunlukla yükseköğretim kurumlarındaki akademisyenler tarafından yürütülmüştür.

Tablo 3. Çalışmaların yürütüldüğü eğitim kademesi

Eğitim Kademesi	f	%
Yükseköğretim (Lisans)	47	55,3
MEB (Ortaokul)	7	8,2
MEB (Genel)	6	7,1
MEB (Lise)	7	8,2
Yükseköğretim (Lisansüstü)	2	2,4
Diğer (Teorik Çalışmalar)	16	18,8
Genel Toplam	85	100

Veri toplama araçlarına ait veriler Tablo 4’te verilmiştir. Bu tabloda yazılım geliştirmeyi konu alan çalışmalarda veri toplama araçları kullanılmamış ve ayrıca teorik çalışmaların çoğunda hazır veriler kullanılmış ve literatür taraması yapılmıştır. Tablo 4 incelendiğinde kullanılan veri toplama araçlarından en çok tercih edileni %34,3 ile “OBS Verileri” olmuştur. OBS verilerinin toplanarak yapıldığı Veri madenciliği çalışmalarında öğrencilere ait veriler alınmış ve araştırma verisi olarak kullanılmıştır. Bu veriler çoğunlukla yaş, cinsiyet, medeni durum, yılsonu ve arasınan notları, fakülte, bölüm bilgileri, doğum tarihi, adres vb. bilgileri içermektedir. Veri madenciliği ile ilgili en çok araştırma konusunun öğrenci başarısı olduğu düşünüldüğünde OBS üzerinden en çok toplanan verinin “yıl sonu notları” olması rastlantı değildir. Bunun dışında ikinci sırada %25,5 ile “anket” gelmektedir. Eğitimde Veri madenciliği çalışmalarında Anket ile veri toplamak ve bu verilerin Veri madenciliği modelleme yöntemleri ile analiz edilmesi sıkça rastlanan bir durum olmuştur. Öğrencilerin başarılarının analizi, karşılaştırması veya tahmininde kullanılan ÖSYM, PISA gibi veri kaynaklarına da sıklıkla başvurulduğu söylenebilir.

Tablo 4. Veri toplama araçları

Veri Toplama Araçları	f	%
OBS Verileri	35	34,3
Anket	26	25,5
Log Kayıtları	11	10,8
Tez/Makale Arama Motoru	10	9,8
ÖSYM Verileri	8	7,8
LMS Verileri	4	3,9
PISA Notları	3	2,9
Başarı Testi	2	2,0
Görüşme	1	1,0
Deney Verileri	1	1,0
TIMMS Notları	1	1,0
Genel Toplam	102	100

Veri toplama araçları ile oluşturulan veri setleri içerisindeki değerlerin arasında farklılıklar olduğu için veri setinin uygun hale getirilmesi amacıyla 9 çalışmada verilerin normalizasyon işlemine tabii tutulduğu belirtilmiştir. 5 tane çalışmada normalizasyon için kullanılan matematiksel yöntem yer verilmemiştir. 1 tane çalışmada normalizasyon için D Min Max Normalizasyonu, 3 tane çalışmada ise Z-Score Normalizasyonu tekniğinin kullanıldığı görülmüştür.

Tablo 5’te eğitimde veri madenciliği ile ilgili çalışmaya dahil edilen makalelerde en çok kullanılan Veri madenciliği modelleme yöntemleri verilmiştir. Teorik çalışmalar ve veri madenciliği tekniklerinin kullanılmadığı çalışmalar, aşağıda verilen modelleme, yöntem ve veri toplama araçları tablolarında yer almamıştır. Tahmin edici model %57,4 ile en çok kullanılan yöntem olmuştur. Veri madenciliğini temel alan araştırmalar incelendiğinde anahtar kelimelerinde ve konu içeriğinde Veri madenciliği ifadesi geçen ancak özet ve özellikle yöntem bölümlerinde veri madenciliği ile ilgili detaylı ve olması gereken bilgilendirmelerin yapılmamasından dolayı %11,8’lik bir oranla “belirtilmemiş” bilgisi tabloda yer almıştır. Ancak bu durumda çoğu çalışmanın modelleme yöntemini yazdığı sonucu çıkarılabilir (%89,2).

Tablo 5. Veri madenciliği modelleme yöntemleri

Veri Madenciliği Modelleme Yöntemleri	f	%
Tahmin edici model	39	57,4
Tanımlayıcı model	13	19,1
Tahmin edici model, Tanımlayıcı model	8	11,8
Belirtilmemiş	8	11,8
Genel Toplam	68	100

Bu çalışmadaki eğitimde veri madenciliği alanındaki yapılan araştırmalarda en çok kullanılan analiz yöntemleri %50,6 ile sınıflandırma analizi olmuştur (Tablo 6). Yapılan araştırmalarda tabloda verilen yöntemlerin birlikte kullanıldığı da görülmüştür. Yapılan tüm çalışmalardan veri analiz yöntemi “belirtilmemiş” olanlar çıkartıldığında çalışmaların çoğunun tek yöntemle, bir kısmının da birden fazla yöntemle analiz edildiği görülmüştür. Çalışmalarda en

fazla 3 yöntem birlikte kullanılmış ve çalışmalarda hem tahmin edici modelin farklı yöntemlerinin hem tanımlayıcı yöntemin farklı yöntemlerinin hem de tahmin edici modelle tanımlayıcı modelin farklı yöntemlerinin birlikte kullanıldığı görülmüştür.

Tablo 6. Veri analiz yöntemleri

Veri Analiz Yöntemleri	f	%
Sınıflandırma Analizi	44	50,6
Birliktelik Kuralı	13	14,9
Kümeleme	12	13,8
Regresyon	10	11,5
Belirtilmemiş	8	9,3
Genel Toplam	87	100

Çalışmalar incelendiğinde en çok kullanılan ana analiz yöntemlerinden olan sınıflandırma analizinde en çok kullanılan algoritmalar Karar ağaçları, Yapay Sinir Ağları, Naive Bayes, K-en Yakın Komşu, CN2 Rules olurken; Birliktelik Kuralında ise en çok kullanılan algoritma Apriori olmuştur.

Veri madenciliğinde verilerin analiz edilmesi için kullanılan birçok yazılım bulunmaktadır. Çalışmalar incelendiğinde Tablo 7’de verilen yazılımların kullanıldığı görülmüştür. WEKA ve SPSS analiz programları veri madenciliği çalışmalarında %20,5 ile en çok kullanılan yazılımlar olmuştur. Çalışmalarda yine aynı oranda kullanılan yazılımların belirtilmediği görülmüştür. Kullanılan yazılım çalışmalarda belirtilmese de kullanılan analiz yöntemleri çalışmalarda paylaşılmıştır. Verilerin analizlerinde aynı çalışmada en fazla 3 adet yazılım kullanılmıştır.

Tablo 7. Veri analizinde kullanılan araçlar

Veri Analiz Yazılımları	f	%
WEKA	16	20,5
Belirtilmemiş	16	20,5
SPSS (Clementine, Modeler)	16	20,5
Microsoft SQL Server Analysis Services	6	7,7
MATLAB	5	6,4
Rapid Miner Studio	4	5,1
Orange Data Mining	2	2,6
Microsoft Office Excel	2	2,6
KNIME	2	2,6
Visual Studio	2	2,6
Business Intelligence Development Studio	1	1,3
D-Melt	1	1,3
Purple Insight MineSet	1	1,3
Tanagra	1	1,3
SAS Enterprise Miner	1	1,3
PASW Statistics	1	1,3
R	1	1,3
Genel Toplam	78	100

Veri madenciliği ile ilgili 85 çalışmada toplam 345 anahtar kelime bulunmaktadır. En çok kullanılan anahtar kelimelerden ilk 10 tanesi Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Veri madenciliği çalışmalarındaki anahtar kelimeler

Anahtar Kelimeler	f
Veri madenciliği (data mining)	35
Eğitsel veri madenciliği (educational data mining)	25
Öğrenme analitikleri (learning analytics)	10
Sınıflandırma algoritmaları	7
Yapay sinir ağları	6
Makine öğrenmesi	5
Birliktelik kuralı	5
WEKA	4
Karar ağaçları	4
Web tabanlı eğitim	4

Bu anahtar kelimeler incelendiğinde çoğunlukla veri madenciliği kavramının kullanıldığı görülmüştür. Diğer öne çıkan ve çok kullanılan kelimeler; öğrenme, eğitimsel, sınıflandırma, öğrenci analizi gibidir. Araştırmacılar veri madenciliği yöntemlerini, modellerini, platformları kullanılan yazılımları, algoritmaları anahtar kelimelerinde kullanmışlardır. Şekil 1’de veri madenciliği ile ilgili detaylı bir şekil oluşturmak için anahtar kelime verileri kelime bulutuna sokulmuş ve aşağıdaki gibi bir görsel oluşturulmuştur [25].



Şekil 1. Eğitimde veri madenciliği çalışmalarında anahtar kelimeler için kelime bulutu

### 3.3. Eğitimde Yapay Zekâ ile İlgili Çalışmalar

Eğitimde yapay Zekâ ile ilgili 27 adet makaleye ulaşılmıştır. Yapay Zekâ çalışmalarına ait konu içerikleri; uyarlanabilir öğrenme ortamı, zeki öğrenme sistemleri, bireyselleştirilmiş öğrenme, robot öğretmen, sanal gerçeklik, bulut bilişim ve yapay zekâ, yazılım değerlendirilmesi, eğitimsel yazılım geliştirme, sanal gerçeklik, bulut bilişim, etkileşimli eğitim yazılımı, dağıtık yapay zekâ teknikleri şeklindedir. Yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımına bakıldığında 2005-2020 yılları arasında olduğu görülmüştür.

Çalışmalarda toplam 46 araştırmacı görev almış ve genellikle öğretim üyeleri tarafından yapılmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Araştırmacı unvanları

Unvanlar	f	%
Belirtilmemiş	14	30,4
Dr. Öğr. Üyesi	11	23,9
Prof. Dr.	7	15,2
Doç. Dr.	4	8,7
Arş. Gör.	3	6,5
Öğr. Gör.	2	4,3
Öğrenci	2	4,3
Dr.	2	4,3
Arş.Gör. Dr.	1	2,2
Genel Toplam	46	100

Eğitimde yapay Zekâ üzerine yapılan çalışma konuları Tablo 10’da verilmiştir. Çalışmalarda en çok %28,6 ile yapay Zekâ yazılımının/ortamının öğretime etkisinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 10. Eğitimde yapay Zekâ araştırmalarındaki çalışma konuları

Çalışma Konuları	f	%
Yazılımın/ortamın öğretime etkisinin değerlendirilmesi	10	28,6
Teorik	9	25,7
Yazılım/ortam geliştirme	9	25,7
Yazılım/ortam değerlendirmesi	8	22,9
Genel Toplam	35	100

Eğitimde Yapay Zekâ konusundaki araştırmaların çalışma grupları incelendiğinde teorik ve yazılım/ortam geliştirme üzerine yapılan çalışmalarda bu kapsamda bilgi yer almamaktadır (Tablo 11). Ancak bu çalışmaların çoğunlukla öğrenciler üzerinde yapıldığı söylenebilir.

Tablo 11. Çalışma grupları

Çalışma Grubu	f	%
Öğrenci	14	70
Öğretmen	3	15
Akademisyen	2	10
Uzman	1	5
Genel Toplam	20	100

Çalışmalar eğitim kademelerine göre incelendiğinde daha çok yükseköğretim düzeyinde çalışmalar yapılmıştır (Tablo 12).

Tablo 12. Çalışmalardaki eğitim kademesi

Eğitim Kademesi	f	%
Yükseköğretim	10	66,6
MEB	3	20
Ortaokul	2	13,3
Genel Toplam	15	100

Veri toplama araçları olarak anket, ölçek, başarı testi ve görüşme formları en çok kullanılan araçlar olmuştur (Tablo 13).

Tablo 13. Veri toplama araçları

Veri Toplama Araçları	f	%
-----------------------	---	---

Anket/Ölçek	8	34,8
Başarı testi	6	26,1
Görüşme	4	17,4
Tez/Makale arama motoru	2	8,7
Log Kayıtları	1	4,3
Delphi yöntemi	1	4,3
Ses Kayıtları	1	4,3
Genel Toplam	23	100

Yapay Zekâ ile ilgili 27 çalışmada toplam 110 anahtar kelime bulunmaktadır. En çok kullanılan anahtar kelimelerden ilk 5 tanesi Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 14. Yapay Zekâ çalışmalarındaki anahtar kelimeler

Anahtar Kelimeler	f
Yapay Zekâ (artificial intelligence)	8
Zeki öğretim sistemleri	6
Uyarlanabilir öğrenme ortamları	4
Web tabanlı öğretim	4
Bilgisayar destekli öğretim	3

Yapay Zekâ konularındaki anahtar kelimelere ait bilgiler aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 2). Anahtar kelimeler içerisinde en çok göze çarpanının “uyarlanabilir” ifadesinin olduğu görülmüştür.



Şekil 2. Eğitimde yapay Zekâ çalışmalarında anahtar kelimeler için kelime bulutu

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, Türkiye’de yapılan eğitimde veri madenciliği ve eğitimde yapay zekâ kullanımını ile ilgili 112 makale betimsel analiz yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre eğitimde veri madenciliği kullanımı konusunda (eğitsel veri madenciliği veya öğrenme analitikleri) yapılan çalışmaların daha fazla olduğu ve 2010 yılından sonra bu konuda yapılan çalışmaların arttığı görülmektedir. Bu durumun nedeni öğrenci bilgi sistemleri, öğrenme yönetim sistemleri, sosyal ağlar gibi bilgi ve iletişim teknolojilerinin sunduğu ortamların kullanımının artması ve bu ortamlardan verilerin kolay toplanabilir olması olarak düşünülebilir. Araştırma konularına bakıldığında ise yapılan çalışmaların büyük oranda öğrenci başarısı üzerine odaklandığı görülmektedir.



Eğitimde veri madenciliği kullanımındaki eğilimin daha çok öğrencilerin başarısının değerlendirilmesi ve tahmin edilmesi yönünde olduğu söylenebilir. Eğitim sürecinin önemli bir parçası olan öğrencilerin başarısını tahmin etmek, eğitimciler ve öğrencilere öğrenme ve öğretme süreçlerini geliştirmelerine yardımcı olmak için oldukça yararlı olduğundan araştırmacıların daha çok bu konu üzerine eğildiği söylenebilir. Öğrenme analitikleri, araştırılan konular arasında ikinci sırada yer alsa da küçük bir orana sahip olduğu görülmektedir. Günümüzde dünyada özellikle uzaktan eğitime karşı artan ilgi ve öğrenme yönetim sistemlerinin kullanımının artması sonucunda öğrenme analitikleri dikkat çeken önemli eğilimlerden birisi haline gelmiştir [16]. Ancak Türkiye’de öğrenme yönetim sistemlerinin kullanımı yaygın olmasına rağmen öğrenme analitiklerinin nispeten daha az çalışıldığı görülmektedir. Bu ortamlardan daha üst düzey verim sağlanabilmesi için sistem içinde kayıtlı olan kullanıcı verilerinin analiz edilmesi önemlidir. Böylece öğrenci profillerinin oluşturulmasında, öğrenme ortamının kişiselleştirilmesinde, eğitim ortamının kalitesinin artırılmasında geri bildirimler sağlanacaktır [26].

Türkiye’de Eğitimde veri madenciliği ve eğitimde yapay Zekâ üzerine odaklanan çalışmalar, daha çok öğrencilere yöneliktir. Aktif öğrenci verilerine ulaşmanın diğer iç (öğretmen, akademisyen, yönetici vb) ve dış paydaş (veli, mezun vs.) verilerine ulaşmaktan daha kolay olması bu durumu ortaya çıkarmaktadır. Eğitim sürecinde önemli bir yere sahip olan diğer iç ve dış paydaşlara yönelik çalışmaların artırılması gerektiği düşünülmektedir. Çalışmaların yürütüldüğü eğitim kademesine bakıldığında yükseköğretim daha çok tercih edildiği ve buna paralel olarak da veri toplama ortamı olarak yükseköğretimde kullanılan öğrenci bilgi sistemlerinin başı çektiği görülmektedir. Diğer veri toplama ortamlarına bakıldığında internet ortamlarının kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra bazı araştırmacıların kendi eğitim verilerini anket, ölçek, başarı testi ve görüşme formu gibi araçları kullanarak topladığı görülmektedir.

Veri madenciliğinde verilerin analizi için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Analiz sonucunda yapılan çalışmalarda sınıflandırma analizinin daha çok kullanıldığı ve diğer analiz yöntemlerinin eşit oranlarda dağıldığı görülmektedir. Sin ve Muthu (2015), eğitsel veri madenciliğinde kullanılan en popüler teknikleri regresyon, en yakın komşu, kümeleme ve sınıflandırma şeklinde listelemiştir [16]. Veri madenciliğinde verilerin analiz edilmesinde çeşitli yazılımların kullanıldığı görülmektedir. En çok kullanılan yazılımlar, bir makine öğrenme yazılımı olan WEKA ve analiz süreçlerinde araştırmacılar tarafından en çok tercih

edilen analiz yazılımı SPSS olmuştur. WEKA’nın açık kaynak kodlu bir yazılım olmasının, araştırmacılar tarafından yoğunlukla tercih edilme sebebi olduğunu düşünebiliriz.

Eğitimde yapay Zekâ ile ilgili çalışmalar, veri madenciliği çalışmalarına göre daha sınırlı kalmıştır. Türkiye’de bu alandaki çalışmalarda bir boşluk olduğu söylenebilir. Yapay Zekânın eğitimde uygulama alanları olan robot öğrenme, uyarlanabilir öğrenme ortamları ve zeki öğrenme sistemleri ile ilgili yapılan çalışmaların neredeyse yarısının teorik ve yazılım geliştirme/ortam geliştirme boyutunda olduğu görülmektedir. Diğer çalışmalar ise geliştirilen ya da varolan yazılımların/ortamların öğretmenler veya öğrenciler tarafından değerlendirilmesi ve öğrenmenin etkililiği ve verimliliği (öğrenci başarısı, öğrencilerin bilişsel doyumu vb.) üzerine odaklanmaktadır. Yazılımların/ortamların değerlendirilmesi için kullanılan veriler anket, görüşme, sistemdeki log kayıtları ve ses kayıtlarından elde edilmiştir. Yazılımların/ortamların öğretim sürecindeki etkisinin değerlendirilmesinde ise başarı testleri ve ölçekler kullanılmıştır. Çalışmalarda ilköğretim/ortaöğretim öğrencileri ve öğretmenler olsa da örneklem grubu çoğunlukla yükseköğretim öğrencilerinden oluşmaktadır. Araştırmacıların çoğunlukla akademisyen olması ve akademisyenler için de uygun örneklem olan yükseköğretimdeki öğrenci gruplarına erişimin daha kolay olması bu durumu ortaya çıkarmaktadır. Öğrenciler dışındaki örneklem gruplarının yer aldığı çalışmaların da yapılması, eğitimde yapay Zekâ alanına katkı sağlayacaktır. Eğitimde yapay Zekâ, öğrencilere gelişmiş öğrenme deneyimleri sunarak öğrenme materyallerinin öğrencilerin ihtiyaçlarına ve yeteneklerine göre bireyselleştirmesini sağlamaktadır. Geleneksel e-öğrenme ortamları her kullanıcıya aynı içeriği sunmaktadır. E-öğrenmenin yaygınlaşmasıyla beraber bu ortamların, bireysel farklılıkları dikkate alma yönündeki eksiklikleri de daha belirgin hale gelmiştir. Bu yüzden e-öğrenme ortamlarında öğretim ve öğrenmeyi geliştirmek için yapay Zekâ teknolojilerinin kullanılması önemlidir. Bu açıdan bakıldığında Türkiye’de yapay Zekâ uygulama ortamlarının geliştirilmesi ve bu teknolojilerin çeşitli gruplar açısından değerlendirilmesi araştırmacılara çalışma konusu olarak önerilebilir.

## Kaynaklar

- [1] Hand DJ, Adams NM *Data Mining*. Editörler: Balakrishnan N, Colton T, Everitt B, Piegorisch W, Ruggeri F, Teugels JL. Major Reference Works. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online. 2015.
- [2] Wu X, Zhu X, Wu G, Ding W. Data mining with big data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data*

- Engineering*, 26(1), 97-107, 2014. doi: 10.1109/TKDE.2013.109.
- [3] Han J, Kamber M, Pei J. *Data Mining Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers, Burlington, 2012.
- [4] Gartner Glossary. <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary> (Erişim Tarihi: 23.05.2020).
- [5] Dunham MH. *Data mining introductory and advanced topics*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc., 2003.
- [6] Romero C, Ventura S. Data mining in education. *WIRES Data Mining Knowl Discov*, 3, 12-27, 2013. Doi:10.1002/widm.1075
- [7] Al Mazidi A, Abusham E. Study of general education diploma students’ performance and prediction in Sultanate of Oman, based on data mining approaches. *International Journal of Engineering Business Management*, 10, 1-11, 2018.
- [8] Saa AA. Educational Data Mining & Students’ Performance Prediction. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(5), 212-220, 2016.
- [9] Keskin S, Aydın F, Yurdugül H. Eğitsel Veri Madenciliği ve Öğrenme Analitikleri Bağlamında E-Öğrenme Verilerinde Aykırı Gözlemlerin Belirlenmesi. *EĞİTİM TEKNOLOJİSİ Kuram ve Uygulama*, 9(1), 292-309, 2019.
- [10] Chatti MA, Dyckhoff AL, Schroeder U, Thüs H. A Reference Model for Learning Analytics. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 4(5), 318-331, 2012. doi: 10.1504/IJTEL.2012.051816
- [11] Chassignol M, Khoroshavin A, Klimova A, Bilyatdinova A. Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview. *Procedia Computer Science*, 136, 16-24, 2018.
- [12] Baker RSJD, Yacef K. The State of Educational Data Mining in 2009: A Review and Future Visions. *Journal of Educational Data Mining*, 1(1), 2009.
- [13] Mohamad SK, Tasir Z. Educational Data Mining: A Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 97, 320-324, 2013.
- [14] Papamitsiou Z, Economides AA. Learning Analytics and Educational Data Mining in Practice: A Systematic Literature Review of Empirical Evidence. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 49-64, 2014.
- [15] Shahiri AM, Husain W, Rashid NA. A Review on Predicting Student's Performance Using Data Mining Techniques. *Procedia Computer Science*, 72, 414-422, 2015.
- [16] Sin K, Muthu L. Application of big data in educational data mining and learning analytics-a literature review. *ICTAC Journal of Soft Computing*, 5(4), 1035-1049, 2015.
- [17] Sukhija K, Jindal M, Aggarwal N. The recent state of educational data mining: A survey and future visions. *2015 IEEE 3rd International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*, Amritsar, 1-2 October 2015.
- [18] Dutt A, Ismail MA, Herawan T. A Systematic Review on Educational Data Mining. *IEEE Access*, 5, 15991-16005, 2017.
- [19] Kumar M, Singh AJ, Handa D. Literature Survey on Student’s Performance Prediction in Education using Data Mining Techniques. *IJ. Education and Management Engineering*, 6, 40-49, 2017.
- [20] Tekin A, Öztekin Z. Eğitsel Veri Madenciliği ile İlgili 2006-2016 Yılları Arasında Yapılan Çalışmaların İncelenmesi. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 8(2), 108-124, 2018. doi: 10.17943/etku.351473
- [21] Chassignol M, Khoroshavin A, Klimova A, Bilyatdinova A. Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview. *Procedia Computer Science*, 136, 16-24, 2018.
- [22] Zawacki-Richter O, Marin VI, Bond M, Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators?. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(39), 2019.
- [23] Chen L, Chen P, Lin Z. Artificial Intelligence in Education: A Review. *IEEE Access*, 8, 75264-75278, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988510.
- [24] Yıldırım A, Şimşek H. *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*. 8th Ed. Seçkin Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [25] Worldcloud Generator. <https://www.wordclouds.com> (Erişim Tarihi: 23.05.2020).
- [26] Özbay Ö, Ersoy H. Öğrenme Yönetim Sistemi Üzerindeki Öğrenci Hareketliliğinin Veri Madenciliği Yöntemleriyle Analizi. *GEFAD / GUGEF*, 37(2), 523-558, 2017.