

ENDÜSTRİDE DİJİTALLEŞME ÖRNEKLERİ

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL

YAZARLAR

Prof. Dr. Gencay SARIŞIK

Prof. Dr. Sezgin IRMAK

Prof. Dr. Tuğrul OKTAY

Doç. Dr. Behçet Özgür ALAYDİN

Dr. Öğr. Üyesi Cengiz HARK

Dr. Öğr. Üyesi Didem ALTUN

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç İKİNCİOĞULLARI

Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KÖSE

Dr. Öğr. Üyesi Taner UÇKAN

Öğr. Gör. Dr. Uğur ERCAN

Yüksek Müh. Hande Nur ALP

Yüksek Müh. Mihriban YALÇINKAYA

ENDÜSTRİDE DİJİTALLEŞME ÖRNEKLERİ

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL

YAZARLAR

Prof. Dr. Gencay SARIŞIK

Prof. Dr. Sezgin IRMAK

Prof. Dr. Tuğrul OKTAY

Doç. Dr. Behçet Özgür ALAYDİN

Dr. Öğr. Üyesi Cengiz HARK

Dr. Öğr. Üyesi Didem ALTUN

Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ İKİNCİOĞULLARI

Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN

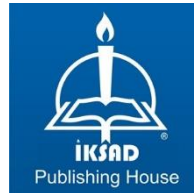
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KÖSE

Dr. Öğr. Üyesi Taner UÇKAN

Öğr. Gör. Dr. Uğur ERCAN

Yüksek Müh. Hande Nur ALP

Yüksek Müh. Mihriban YALÇINKAYA



Copyright © 2022 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced,
distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or
mechanical methods, without the prior written permission of the publisher,
except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other
noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic
Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2022©

ISBN: 978-625-8213-70-6

Cover Design: İbrahim KAYA
October / 2022
Ankara / Turkey
Size = 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL.....1

BÖLÜM 1

ROBOTİK SÜREÇ OTOMASYONLARININ ELEKTRİK DAĞITIM SEKTÖRÜ UYGULAMALARI

Yüksek Müh. Mihriban YALÇINKAYA

Prof. Dr. Gencay SARIİŞİK3

BÖLÜM 2

ÇIKARIMSAL METİN ÖZETLEME YÖNTEMLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Taner UÇKAN

Dr. Öğr. Üyesi Cengiz HARK.....31

BÖLÜM 3

KARAR AĞAÇLARI: ALGORİTMALAR, BÖLÜNMELEK VE BUDAMA

Öğr. Gör. Dr. Uğur ERCAN

Prof. Dr. Sezgin IRMAK.....47

BÖLÜM 4

AKILLI ŞEHİR UYGULAMALARI İÇİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ

Yüksek Müh. Hande Nur ALP

Prof. Dr. Gencay SARIİŞİK.....85

BÖLÜM 5

FARKLI BATARYA AĞIRLIKLARININ VE BAŞKALAŞIMIN HEXAROTOR SAPMA UÇUŞUNA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KÖSE

Prof. Dr. Tuğrul OKTAY111

BÖLÜM 6

YENİ BAŞLAYANLAR İÇİN OPENFOAM® KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç İKİNCİOĞULLARI.....127

BÖLÜM 7

FPGA YAPILARDA KAOTİK OSİLATÖR TASARIMI

Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN159

BÖLÜM 8

MİKRODENETLEYİCİ TABANLI CNC KONTROLÜ VE DÜŞÜK GÜÇLÜ LAZER TASARIMI

Dr. Öğr. Üyesi Didem ALTUN

Doç. Dr. Behçet Özgür ALAYDİN177

ÖN SÖZ

Dijitalleşme endüstride yönetimden üretime birçok uygulama alanına sahiptir. Ama kullanılan ya da kullanılmak istenen dijital sistemler hakkında çok sınırlı bilgiye sahip olmamız ile elde edilecek fayda da sınırlı olmaktadır. Bu eksikliğe bir çözüm olarak derlediğimiz bölümlerden oluşan kitabımızda uzman araştırmacılar tarafından okuyucuya yazılım, donanım ve örnek çalışmalar ile kapsamlı bir kitap sunuluyor.

Birinci bölümde dijitalleşmenin iş hayatında tüketilen zaman azalırken kaliteyi nasıl artırdığı “Robotik Süreç Otomasyonlarının Dağıtım Sektörü Uygulamaları” başlığı altında örnek bir çalışmayla anlatılmıştır. Diğer bir otomasyon örneği ikinci bölümde doğal dil işleme yöntemlerinin geniş bir literatür taraması ile “Çıkarımsal Metin Özetleme Yöntemleri” başlığı altında verilmiştir. Doğal dil işleme gibi birçok alanda kullanılan makine öğrenme algoritmalarından karar ağaçları uygulama detayları ve performans artırıcı çeşitli yöntemler ile üçüncü bölümde “Karar Ağaçları: Algoritmalar, Bölünmeler ve Budama” başlığı altında verilmiştir.

Dijital teknolojiadaki ilerleme yapılan araştırmaları da dijitale taşıyarak hem zamandan hem de yüksek maliyetlerden kurtarmıştır. Bu bağlamda dördüncü bölümde yenilebilir enerjilerden rüzgâr enerjisi Türkiye genelinde “Akıllı Şehir Uygulamaları İçin Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli İndeksinin Belirlenmesi” başlığı altında değişik pervane boyutları ve konumlar için incelenmiş ve yapılacak olan rüzgâr santrallerinin en etkili nasıl yapılabileceğine dair sonuçlar sunulmuştur. Diğer bir çalışma beşinci bölümde son günlerde çok popüler olan drone sistemlerinden biri olan hexarotor tasarımında yapılan değişikliklerin, farklı ağırlıktaki bataryalar için etkisi simülasyonlar ile “Farklı Batarya Ağırlıklarının ve Başkalaşımın Hexarotor Sapma Uçuşuna Etkisi” başlığı altında incelenmiştir. Altıncı bölümde ‘Yeni Başlayanlar İçin OpenFOAM Kullanımı’ yazar tarafından ücretsiz ve açık kaynak kodlu olarak kullanılabilen bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan OPENFOAM için kurulum ve başlangıç düzeyinde bilgiler aktarılmaktadır.

Dijitalleşmenin bu kadar ilerleyebilmesinin donanımdaki erişilebilirliğin artmasından kaynaklandığının farkındalığı ile yedinci ve sekizinci bölümlerde “FPGA Yapılarda Kaotik Osilatör Tasarımı” ve “Mikrodenetleyici Tabanlı CNC Kontrolü ve Düşük Güçlü Lazer Tasarımı” başlıkları altında endüstride kullanıma hazır donanım tasarımları, kurulum ve test aşamaları ile birlikte okuyucunun beğenisine sunulmuştur.

Bölümler için sağlanan içeriklerin tüm sorumluluğu ilgili yazarlarına aittir.

Bu kitaba katkılarından dolayı yazarlara ve İKSAD yayınevine teşekkür ederiz. Bu kitapta derlenen bölümlerde, endüstride dijital teknolojinin uygulamaları ile okuyucuya geniş bir literatür bilgisi vermesinin yani sıra yeni teknolojik uygulamalara ilham olmasını umuyoruz.

Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL

Ekim 2022

BÖLÜM 1

ROBOTİK SÜREÇ OTOMASYONLARININ ELEKTRİK DAĞITIM SEKTÖRÜ UYGULAMALARI

Yüksek Müh. Mihriban YALÇINKAYA¹

Prof. Dr. Gencay SARIŞIK²

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Şanlıurfa, Türkiye, mihribanylnky@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1877-2178

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Şanlıurfa, Türkiye, gsariisik@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1112-3933

³Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0 uygulamasının kullanmaya başlanması ile sektörlerde yapılan hataların maliyeti, kullanılan cihazların yakıt maliyeti ve iş gücü için harcanan maliyetler giderek azalmaktadır. Fakat bu azalmanın görülebilmesi için geçen süre oldukça zaman almaktadır. Yine de geçen bu süre beklenmeli ve Endüstri 4.0 tüm alanlarda uygulanmalıdır (Alkış ve ark., 2020). Robotik Süreç Otomasyonu (RPA) bir kurumun ya da kuruluşun Bilgi Teknolojileri (BT) alt yapısını değiştirmez. Bunun yerine teknolojiyi daha hızlı ve verimli bir şekilde kullanarak mevcut alt yapı ve sistemi değiştirmeden kullanmasını sağlar. RPA, şirketlerin verimliliği artırabilmeleri ve işletme maliyetlerin azaltabilmeleri için yapılandırılmış kural ve verilere dayalı tekrarlanan süreçlerin otomatikleşmesine yardımcı olmaktadır.

RPA her ne kadar yeni bir araştırma konusu olsa da Türk ve yabancı birçok kaynak bulunmaktadır. İlgilendiği alanlar da bir o kadar gelişme göstermektedir. RPA, yapay zekâ enstitüsüne göre, mevcut uygulamalardaki veriyi çekip değerlendirme, yorumlama, işlemleri ve bilgileri yürütme, bilgileri manipüle etmeyi sağlayan robotlar veya bilgisayar yazılımlarıdır. Ayrıca diğer sistemler arasında etkileşim halinde olan bir teknoloji uygulamasıdır.

Teknolojinin son dönemlerde hızla gelişmesiyle insanların yapmış oldukları işler botlara (robotlara) tanıtılarak yapılmaktadır. Kişilerin günlük olarak yaptıkları işler, insan kontrolü dışında olan görevler botlar tarafından yapıldığında verimlilik %100 olarak artmakta ve bu işte kullanılan kişiler farklı alanlarda daha verimli çalışmaktadır. Bu çalışmadaki önemi dağıtım sektöründe Cania IAS modüllerin de (IAS-191, IAS-391 ve IAS-FINT-80) ve şirketteki farklı uygulamalarda personeller tarafından yapılan fatura kontrollerinin botlar tarafından yapılarak hem daha kısa sürede hem de daha doğru yapılması sağlanmıştır. Ayrıca RPA üzerine yazılmış literatürler taranarak bir sonraki çalışmalarda araştırmacılara yol gösterici bir kaynak özelliği taşımaktadır.

Firmaların muhasebe alanları şirketler için oldukça önemlidir. Finans ve muhasebe alanları para akışının sağlandığı, faturaların önemli

bir yer tuttuğu bir alandır. Bu sebeple burada yapılan işler hem hatasız hem de sistematik olarak dijitalleşmelidir.

Bu çalışmada amacımız çok tekrarlanan, çok işlem ve zaman kaybı gerektiren süreçlerin belirli bir kural çerçevesinde botlara (robotik otomasyon yazılımı) tanıtılıp sürecin otomatik ve hatasız işlemlerini sağlamaktır. Ayrıca burada harcanan süreyi ve eforu azaltıp, hatayı sıfıra indirmek planlanmaktadır. Böylece bu alanlarda kullanılan personellerin daha çok ihtiyaç duyulan kilit alanlarda kullanılmasını sağlayarak, personellerde verimlilik oluşturmaktır. Faturalar için çeşitli sistemlerden yapılan manuel kontrollerin hata oranlarını azaltmak, manuel yapılan işlemlerin otomatize edilmiş olmasını sağlamak ve sadece işleri bu olan personellerin daha farklı işlere yönelmesini sağlayarak maksimum düzeyde kullanıcı verimliliğini sağlamaktır. Ayrıca verimle beraber kullanıcıların memnuniyet oranları da artmaktadır. Şirketler için verim ve fayda sağlayan bir uygulama olan RPA uygulaması hakkında bilgiler verilmiş ve verimlilik detayları üzerine örnek yapılmıştır.

Çalışmanın sonunda dağıtım sektöründe bulunan bir firmanın Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) canias sistemleri kullanmakta yükümlü olduğu bazı uygulamamalar (Digital Planet ve Gelir İdaresi Başkanlığı Programları) kullanarak yapılan fatura kontrollerinde önceleri manuel olarak excelde her ay bir haftalarını alan işlemlerin botlara yaptırılması anlatılmıştır. Ayrıca botlara yaptırılan bu işlemlerde hem zamandan tasarruf hem de sıfır hata sağlanmıştır. Önemli bir ayrıntı olarak da kullanıcılar geriye kalan zamanlarında daha verimli çalışarak kullanıcı motivasyonunun arttığı anlatılmaktadır (Thales Bilişim, 2022).

2. ROBOTİK SÜREÇ OTOMASYONU

Robotik Süreç Otomasyonu (RPA) kavramı 2000'li yılların başlarında hayatımıza girmiştir. RPA temelinde 3 teknolojinin birbirlerinin etkileşimi sonucu meydana gelmiştir. Bunlar; İş akışı otomasyonu, yapay zekâ ve ekran kazımadır.

Bu teknolojilerden ekran kazıma yöntemi 1990'lı yıllarda kullanılan bir yöntemdir. Ekran kazıma, web sitelerinde ve

dokümanlarda köprü görevi gören, verileri kopyalayarak çoğaltmaya yarayan bir otomasyondur. Yeni teknolojilere geçişlerde kullanılan ekran kazıma teknolojisi HTML kodu ile çalışmaktaydı. Bu sebeple ekran kazıma zamanla çeşitli sorunlara sebep oldu. Böylece sektörler ve firmalar daha esnek, daha güvenilir teknolojiler aramaya koyuldular. Ekran kazıma teknolojisi ile RPA'nın temelleri atılmış olundu. Robotik botların ekran kazıma tekniği ile arasındaki en büyük fark kod içermeyen yapısıdır.

RSO oluşturan teknolojilerden biri de iş akış otomasyonudur. 1990'lı yıllarda kullanılan iş akış otomasyonunun temeli 1920'li yıllara dayanmaktadır. İş akış otomasyonu günlük iş süreçlerini iyileştirmek ve bu iş süreçlerindeki adımlar için bir sürü işlemleri otomatik olarak ele almaktadır (Ostdick, 2016; İnan, 2020).

1956 yılında Dartmouth Konferansında RSO'nun son teknolojisi olan yapay zekâ teknolojisi fikri ortaya atılmıştır. Yapay zekâ teknolojisi insan müdahalesi gerektirmeyen ve yapılan işlerde insan zekâsına ihtiyaç duyulan görevleri yerine getirmek demektir. Yapay zekâ teknolojisi ile sistemler içinde buldukları durumlarda daha verimli, daha hızlı ve daha akıllı çalışarak süreçlerin otomatikleşmesini ve karmaşık süreçlerin sistematik hale gelmesini sağlamaktadır (Ostdick, 2016; İnan, 2020).

Teknolojideki son gelişmelerin iş dünyasında yer alması ile birlikte işletmeler ve firmalar kendi yerel kimliklerinden ayrılıp uluslararası alanda ilerleme göstermeye başlamıştır. Gelişen teknolojik botlar ve ürünler hem bireysel hem de işletmeler ve firmaların kapsamını, biçimini ve faaliyet yönlerinde değişimleri meydana getirmiştir.

Bu sebeple giderek yaygınlaşan teknolojik ve akıllı ürünlerden olan; BigData, Endüstri 4.0, makine öğrenmesi, yapay zekâ, blok zincir teknolojisi, ve veri madenciliği firmalara hızlı bir giriş yaparak kullandıkları alanların yeniden yapılanmasında kilit bir rol üstelenmişlerdir (Kestane,2021).

Günümüzde pek çok sektör ve firma gelişen teknolojilerin beraberinde getirdiği avantajlarla birlikte hem iş süreçlerini elektronik ortamlarda yürütmekte hem de dijital gelişimlerden oldukça

faydalanmaya çalışmaktadır. İş süreçlerinin dijital ortamlara alınması bu süreçlerle beraber yeni terminolojilerin oluşmasına sebep olmuştur. Bu kavramlardan biri de sanal iş gücüdür. Sanal iş gücü, robotların meydana getirdiği bir iş gücüdür. Son yıllarda adını sıkça duyduğumuz RPA ifadesi firmaların sanal iş kavramlarında aktif olarak hizmet sağlayan bir bot yazılımıdır. Bu otomasyon türü piyasada bulunan firmaların çeşitli ihtiyaçları doğrultusunda oluşturulmuş sanal personellerdir (Yılmaz, 2021).

RPA'nın işletmelerin çoğu süreçlerini otomatikleştirerek zamanı değerli hale getirerek çalışanlara maksimum verim kazandırmayı sağlar. Böylece RPA kullanım alanların çoğunda çalışanların iş akışlarında göstermiş olduğu memnuniyet müşteriler ile kurdukları ilişkilere de yansımaktadır (Renova, 2022).

Bu alanda RPA'nın ne anlama geldiği ve tarihçesi, RPA'nın sağladığı avantajlar ve özellikleri, RPA'nın süreçsel olarak nasıl ilerlediği ve nasıl çalıştığı? RPA'nın çalışırken yaşadığı zorluklar ve sistemlere sağladığı faydalar, RPA'nın uygulama alanları ve RPA'nın zorunlu bileşenleri konuları ele alınacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Görçün (2018), bu tez çalışmasında robot yazılımların gelecekteki süreçte üstlenecekleri rol ve işler tanımlanmıştır. Yıldız ve Yıldırım (2018), bu çalışmada robot yazılımların ve yapay zekânın kütüphanecilik mesleğine olan kazanım ve etkileri incelenmiştir. Karabacak (2019), RPA'nın çeşitli sektörlerde (Perakende, Finansal Servisler ve Kamu sektörlerinde olan süreçlerde) göre değişiklik gösterip göstermediği, hangi sektörlerin daha uyumlu olduğu Ki-kare testi ve F testi uygulanarak anlaşılmaya çalışılmıştır. Kurt ve Bozoklu (2019), bu makalede, yapay zekâ, robotik ve RPA'nın artan kullanımları sonucu ortaya çıkan robot ekonomisi diye adlandırılan ekonomik sistemlerin yarattığı değişimler ele alınmıştır. Özdemirci (2019), yapılan çalışmada 24 saat (7/24) çalışan ve dijital asistan olarak ifade edilen robotların günümüzdeki önemi ele alınmıştır. Aydın (2020), araştırma konusu, teknolojinin başında bulunan RSA'nın Türkiye'deki katılım finans sistemi içinde bulunan kullanım alanları ve bu alanlarda yapılan geliştirmelerin süresi ve maliyeti açısından

verimliliklerin analizidir. Çalışkan ve Kıran (2020), bu makalede RSA'nın tarihsel gelişiminden ve RSA'nın iş süreçlerinin otomasyonunda şirketlere sağladığı faydalardan bahsedilmektedir. Aylak ve ark. (2020), lojistik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin dijital dönüşümlerdeki gelişmeleri incelenmiş ve Türkiye'deki dijital lojistik trendler belirlenmiştir. Tiftik (2021), bu taramada RPA ve yapay zeka ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Kestane (2021), iç denetim süreçlerinde RPA çalışmalarının kullanım ile sistemde olan ve gelecekte olabilecek gelişmeler çalışmada ele alınmıştır. Yetiz ve ark., (2021), bu araştırmanın amacı vaka analizi yöntemi kullanarak RSA'nın bankacılık süreçleri üzerindeki verimliliğin gösterilmesidir. Arslan (2021), araştırılan bu tez çalışmasında RPA kavramı tanıtilerek, kullanımının denetim alanında kullanıldığında elde edilen sonuçlar ve çalışanların RPA kullanımından kaynaklı olumlu – olumsuz etkileri hakkında bilgiler verilmiştir. Şeker ve Hoş (2021), Çorum ilinde mali müşavirlerin RPA ile çalışan muhasebe işlemlerinin kullanımına ilişkin etkenlerin belirlenmesi hedeflemiştir. Yılmaz (2021), dijitalleşme yönünde önemli adımlardan biri olan Elektronik Belge Yönetim Sistemleri (EBYS) iş süreçleri ile RPA aracı kullanımı incelenmiştir. Kılınç (2020), yapılan çalışmada çalışan performans anahtar performans göstergeleri (KPI) RSA'nın üzerinden sistemden alınarak çalışanların KPI'ları yapay sinir ağları ile modellemeye çalışılmış ve böylece çalışan performans KPI'ları tahminlenmiştir. Osman (2019), bu makalede günümüzde insan hatası veya insan hatalarını azaltmak için tekrarlanan görevlerde yapılan otomatikleşme süreci ve otomatikleşme eğilimine değinilmiştir. Chakraborti ve ark. (2020), bu anket çalışmasında teknoloji dünyasındaki son gelişme olan robotik süreç gelişmeleri incelenmiştir. Balasundaram ve Venkatagiri (2020), bu makalede teknolojik olarak büyük gelişme gösteren RPA uygulamasının insan kaynakları (İK) süreçlerinde ne gibi faydalar sağladığı ele alınıp gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Syed ve ark (2019), bu makalede RPA'nın operasyonel süreçlerde kullanılmasıyla verimliliğin artmasıyla ilgili bilgiler verilmiştir. Hofmann ve ark (2020), bu makalede sürekli ilerleyen dijital dönüşümün içinde olan RPA'nın kurumsal dünyada popüler bir konu olsa da akademik alanda

pek kaynağın bulunmamasına değinilmiştir. Strömberg (2018), bu tez ile, kuruluşlarda RPA'nın benimsenmesiyle ilgili faydaları ve zorlukları incelemektedir. Tımbadı ve ark. (2020), bu makalede, RPA süreç analizi modelleri önerilmiştir ve değişim derecesi ve değişim sıklığı gibi belirli karşılaştırma parametrelerini kullanarak geleneksel bir modelle karşılaştırma yapılmıştır. Kautikwar ve ark. (2020), bu araştırma makalesi yapay zekâ, makine öğrenimi, büyük veri analitiği, bulut bilişim gibi teknolojik uygulamaların bankacılık sektörünü nasıl etkilediği ve bankalardaki kullanım uygulamaları üzerinde bilgiler vermektedir. Özdem ve Bora (2022), hazırlanan bu tez, son zamanlarda gelişmekte olan önemli teknolojik gelişmelerin başında gelen RPA'nın geçmişten günümüze gelişimini, içinde bulunduğu zaman aralığında sektöre ve firmalara kazandırdıkları, RPA ne olduğu ve gelecek nesillerde botların neler yapabileceğini ele alan bir çalışmadır. Fernandez ve Aman (2018), Bu çalışmanın amacı, RPA'nın Global Dünya üzerindeki etkisini anlamaktır. Doguc (2022), bu çalışmada son zamanlarda giderek popüler olan RPA'nın botları hakkında bilgiler sunulmuştur. Santos ve ark. (2019), bu makalede amaç, RPA'nın etkileşimli yazılım robotlarını kullanarak iş süreçlerini otomatikleştirmeyi sağlamaktır. Yarlağadda (2019), bu çalışmada, Yapay zekâ ve RPA'nın açıklamayı ve otomasyon süreçlerinin gelişen ve modern dünya üzerindeki etkilerini göstermeyi hedeflemektedir. Serçemeli (2018), bu çalışmanın amacı, yolu dijital dönüşümde kesişen meslekler arasında bulunan denetim meslekleri ve muhasebe, finans birimlerin de yapay zekâ ve otomasyonun önemini ve yerini belirlemek, gelecekteki durumları hakkında tespitlerde bulunmaktır. Kırılmaz (2020), bu makalede amaç, teknoloji dünyasında yaşanan değişikliklerin İnsan Kaynakları Yönetimine olan etkilerini belirlemektedir. Bu yöntemi belirlerken içerik analizi yöntemi uygulanmıştır. Kaya ve ark. (2019), bu çalışmanın amacı kurumsal kaynak planlaması olan ERP uygulamasının RPA uygulamasının birlikte oluşturduğu faydaları göstermektir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada şirketimizin muhasebe biriminde kullanılmış olan dijital sistemlerden alınan faturaların manuel kontrol işleminin robotik otomasyon programı olan Automation Anywhere ile nasıl otomatikleştirildiği ve sistemin kullanıcılar üzerindeki verimliliği uygulamalı olarak anlatılmıştır.

Araştırmanın amacı, RPA'nın dağıtım sektörünün muhasebe süreçlerindeki verimliliğini göstermek ve süreçlerde insan müdahalesini azaltarak kesintisiz, faydalı ve hatasız çalışma ortamları oluşturduklarını ortaya çıkarmaktadır. Çalışmada, örnek bir elektrik dağıtım firmasının muhasebe birimi seçilmiştir ve bu birimdeki bazı süreçler için kullanılan yöntem "Vaka Analizi" yöntemidir. Bu yöntem ile Türkiye'de örnek olarak alınan bir dağıtım firması üzerinde çalışma yapılarak var olan muhasebe süreçlerinin robotik otomasyonlara aktarılması ne ölçüde verimlilik sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada RPA'nın ne gibi faydaları olduğu, muhasebe alanında kullanılmasının güvenilirlik ve verimlilik açısından faydalarının neler olduğu üzerinde durulmuştur. "RPA kullanılan süreçler pratik bir uygulama mıdır? ve RPA ile zamandan tasarruf sağlanabilir mi?" sorularına cevap aranmıştır. Ayrıca yapılan araştırmalar ile literatüre katkı sağlanmıştır.

Veri toplama yönteminde örnek bir dağıtım firmasının muhasebe biriminde finansal işlemleri RPA'nın sorumlu yetkilileri ile birlikte belirli bir süreç analiz edilmiş, incelenmiş ve rapor edilmiştir. Söz konusu muhasebe biriminde gerçekleştirilen bu işlemler için 2 ay boyunca toplantılar yapılmış, süreçler izlenmiş ve hangi süreçlerin robotlar tarafından yapılması gerektiği tespit edilip raporlanmıştır. Robot yazılımına aktarılacak işlemler ve işlemlerin süresi ile ilgili veriler toplanmıştır. Yazılıma aktarılacak süreçler botlar aracılığıyla yapılması sağlanmıştır. Muhasebe tarafından robotik otomasyonlarında kullanılan bu süreç en ince ayrıntısına kadar öğrenilmiş ve işlem süreçleri hakkında detaylı bir düzeyde bilgi sahibi olunmuştur. Bunun dışında robotik süreç ekibi ile birlikte robot yazılımının yaptığı bu işlemlerin firmaya ve personellere sağladığı faydaların neler olduğu

açıklanmıştır. RPA böylece gerçek bir ortamda test edilerek teorik ve pratik olarak uygulanarak belirli bir sonuca varılmıştır.

Firmamızın muhasebe bölümünde bir ERP uygulaması olan Canias İAS kullanılmaktadır. Canias ERP uygulaması hakkında kısaca bilgi aşağıda verilmiştir.

Canias ERP uygulaması; ERP (Kurumsal Kaynak Planlama); Kurumların tedarik aşamasından dağıtım aşamasına kadar süreçlerini bütünleşik bir bilgi yönetimi ve veri yönetimin yardımlarını alarak sisteminin yürütülmesini sağlayan modüler yapıya sahip ve geniş kapsamlı bir yazılım uygulama paketidir.

Firmaları yazılımlara yönelten nedenler, şirketlerin iç pazarda güçlenmesi, yoğun bir şekilde ilerleyen rekabet ortamlarına uyum sağlaması, serbest ekonomi piyasasını engelleyen süreçlerin ortadan kalkması, firmaların yurt dışında bulunan pazarla açılma isteğidir. Esnek yazılımlar, müşteriye hizmet veren servis sağlayıcıları, bilgi iletişim sistemlerindeki gelişmeler, çalışanların bilgisayar kullanan kişilerin deneyim ve bilgilerinin artması yazılım uygulaması olan Kurumsal Kaynak Planlamasının ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Atasever, 2011).

İAS tarafından 24 yıllık tecrübe ile geliştirilen Canias ERP; farklı yapılara sahip firmalara uygun olması, açık bir kaynak olması, sektör bağımsız ve bütünleşik bir yapıda olması kurumsal kaynak planlamasında bir çözümdür (Automation Anywhere, 2022).

Uygulama Elektrik Dağıtım Firmasının Muhasebe biriminde gerçekleştirilmektedir. Kullanılan Canias ssteminde müşteriler için oluşturulan faturalar Digital Planet ve Gelir İdaresi Başkanlığı (GIB) sistemine akan faturalar ile karşılaştırılarak arada kaçan faturalar var mı yok mu diye kontrol edilmektedir. Bu çalışma muhasebe biriminde çalışan bir grup tarafından yapılmaktadır. Gruptaki çalışan kişilerin sayısı 6'dır. Bu birimdeki personeller faturaların kontrollerini her gün 5 saat çalışarak ayda bir haftalarını bu çalışma için harcamaktadır. Bu işlemler her ay gerçekleşmektedir. Dağıtım firmasında muhasebe biriminde kullanılan uygulamalar aşağıdaki gibidir:

IAS-191: Alış hesabıdır. Hesaplanan KDV'nin indirildiği, şirketler tarafından alınan hizmet ve malların satın alınma aşamasında satıcı firmalara ödenen katma değer vergisinin sisteme kaydedildiği, sistemde tutulup, izlendiği bir hesaptır (Şekil 1.).



Tarih	Miktar	Statü	Notlar	Özet
01.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
02.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
03.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
04.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
05.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
06.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
07.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
08.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
09.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
10.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
11.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
12.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
13.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
14.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
15.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
16.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
17.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
18.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
19.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
20.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
21.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
22.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
23.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
24.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
25.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
26.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
27.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
28.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
29.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
30.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000
31.01.2010	1.000	Hesaplanmış		1.000

Şekil 1: KDV sistemi giriş ekranı

IAS-391: Satış hesabıdır. Firmanın KDV hesaplanmadan sistemde tutulan hesaptır.

IAS-FINT80: Masraf ekranıdır. Personellerin yemek, yol veya çeşitli masraflarının işlendiği ekrandır.

Digital planet sistemi: E fatura sistemidir. E- fatura mükellefi ifadesi; Gelir İdaresi Başkanlığınca belirlenen şartlar içerisinde E-fatura uygulamasını kullanmakla mükellef olanlar için kullanılan bir ifadedir. Bu sınırlandırılmalar ve kurallar ile ilgili GİB tarafından yapılan belirli yayımlamalar yayınlanmaktadır. Bu şekilde olan pek çok firma bu kurallar doğrultusunda E fatura mükellefi olmaktadır (Şekil 2.).

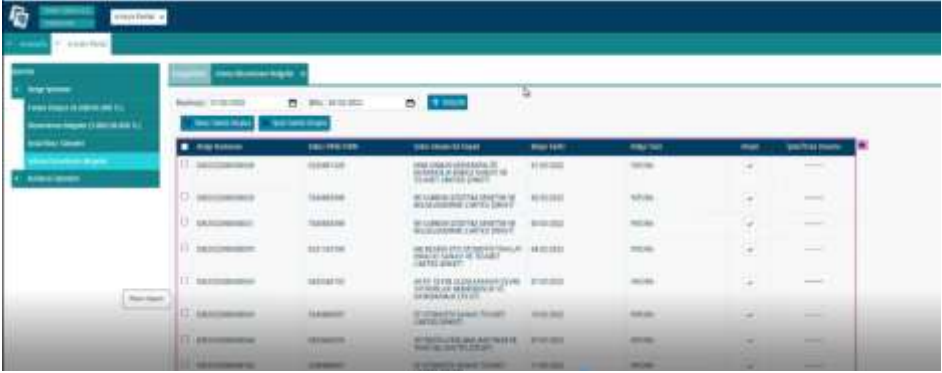
T.C. Maliye Bakanlığı GİB'ınca uygulanan bu uygulama ile kişilerin faturaları hızlı, güvenli ve hatasız bir şekilde uygulamada dolaşılması sağlanmıştır.



Fatura No.	Ticari Kod	Ticari Adı	Ticari Adı	Ticari Kod
557202300000396	433044790	TRV		211,0
444312000000317	734899000	TRV		351,0
444312000000316	734899000	TRV		328,0
444312000000704	346660700	TRV		424,9
100032000003790	879902397	TRV		7228,3
				8794,2

Şekil 2. Digital Planet E- fatura sistemi giriş ekranı

Gelir idaresi başkanlığı (GIB): Bir gelir servisi, gelir kurumu veya vergi dairesi, vergiler ve bazen vergi dışı gelirler dâhil olmak üzere devlet gelirlerinin alınmasından sorumlu bir devlet kurumudur. E arşiv sistemine akan faturalar bu sistemden kontrol edilmektedir (Şekil 3).



Fatura No.	Ticari Kod	Ticari Adı	Ticari Adı	Ticari Kod
557202300000396	433044790	TRV		211,0
444312000000317	734899000	TRV		351,0
444312000000316	734899000	TRV		328,0
444312000000704	346660700	TRV		424,9
100032000003790	879902397	TRV		7228,3
				8794,2

Şekil 3: E- arşiv sistemi giriş ekranı

Şirketlerin muhasebe birimi para akışının sürekli sağlandığından dolayı yapılacak işlemlerde hata oranının en düşük olması istenilen bir birimdir. Muhasebe biriminde yapılan işlemler her ay sürekli tekrarlandığından ve iş yükünün fazla olduğu bir birim olmasından dolayı yapılan çalışma muhasebe biriminde yapılmıştır. Böylelikle bu birimde sürekli tekrarlanan işlemler hem hata oranının sıfırlanması hem

de insan kontrolüne pek ihtiyaç duyulmayan süreçlerin robotlara aktarılması ihtiyacı doğduğundan dolayı çalışmada şirketin muhasebe birimi seçilmiştir. Ayrıca bu işlemlerin yapılma ya da kontrol edilme sırasında herhangi bir şekilde insan kontrolüne ihtiyaç duyulmayan adımlarının sıklığından dolayı RPA uygulaması seçilmiştir. Böylece yapılan işlemlerde hata oranı sifıra indirilerek yapılan işlemlerin en kısa sürede yapılması sağlanabilmektedir.

Bu çalışmanın yapıldığı zamanda bazı kısıtlamalar ile karşılaşmıştır. Bu kısıtlamalar; işlemler muhasebe biriminde yapıldığından dolayı yapılan bazı işlemler şirket gizlilik politikası gereğinden dolayı yüzeysel anlatılmıştır. Böylece bazı süreç akış adımları net ve açık bir şekilde anlatılmadığından dolayı sürecin robotik botlara aktarılmasında sorunlar yaşanmıştır. Ayrıca RPA uygulaması olan Automation Anywhere sistemine aktarılan süreçlerde birden fazla uygulama olduğundan dolayı kurulan entegrasyon noktalarında süre anlamında sorunlar yaşanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada RPA'nın elektrik dağıtım hizmet sektöründe uygulamaları analiz edilmiş ve tartışmalarda bulunulmuştur.

4.1. Araştırmanın Vaka Analizi

Günümüzde muhasebe, finans gibi mali değer taşıyan birimler şirketler için önem arz etmektedir. Bu nedenle firmalar teknoloji alanında kullanılan sistemleri en çok muhasebe ve finans alanında kullanmaktadır. Elektrik dağıtım firmasının muhasebe biriminde yapılan işlemler sonucunda sistemde E-fatura ve E-arşiv faturaları Canias sisteminde oluşmaktadır. Oluşan bu faturaların mali değer taşıdığından dolayı devletin resmi sistemlerine akmaktadır. Mali değer taşıyan bu faturalar her ay Canias sisteminde rapor çekilerek bakanlığın sistemine akmış mı akmamış mı diye manuel kontrol edilmektedir. Bu sayede sistemlerden kaçan herhangi bir mali kayıp var mı kontrolü yapılmaktadır ve yaşanan sıkıntılar önlenmeye çalışılmaktadır.

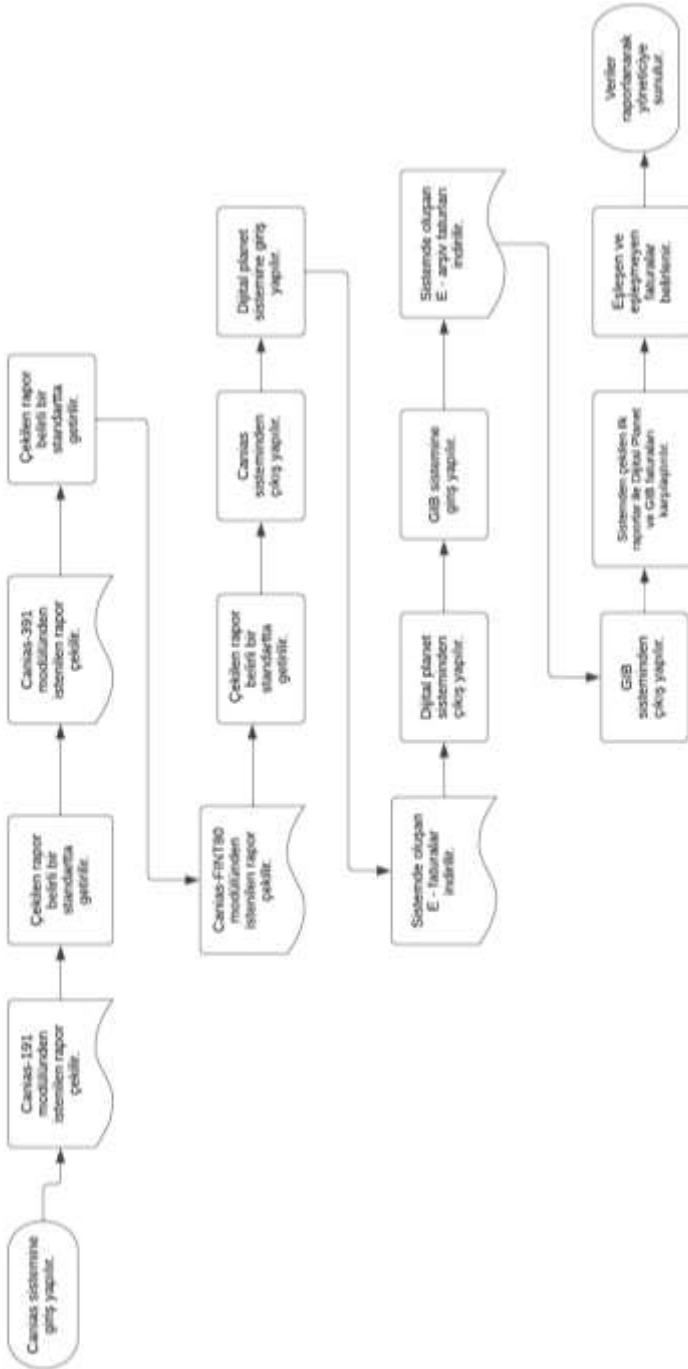
Bu işlemler yapılırken izlenen yol ve süreler aşağıdaki gibidir:

- Yapılacak işlemler her ay yapılmaktadır. Bu sebeple öncelikle bu işlemleri yapacak bir ekip belirlenmiştir. Ekipteki kişi sayısı 6'dır.
- Belirlenen grup öncelikle Canias sistemini açmakta, açılan sistemden İAS191-İAS391 ve İAS-INT80 modüllerinden sistemde kendilerinin oluşturdukları faturaların raporlarını çekmektedir.
- Çekilen raporlar belirli bir standart şekline getirilir.
- Dijital Planet ve GİB adı verilen bakanlığın sistemlerinden ilgili iller için sisteme akan E-fatura ve E-arşiv faturalarının listesi çekilir.
- Çekilen listeler belirli bir standart şekline getirilir.
- Canias sistemini açmakta, açılan sistemden İAS191- Dijital Planet sisteminde kontrol edilmektedir.
- İAS391- Gelir İdaresi Başkanlığı sisteminde ve İAS-INT80 ise hem Dijital planet sisteminde hem de Gelir idaresi başkanlığı sistemlerinden kontrol edilmektedir.
- Muhasebe birimindeki ekip bu listeleri teker teker fatura numaraları ve fatura tutarları karşılaştırarak arada kaçan fatura var mı diye kontrol eder. Bu işlemler gerçekleşirken harcanan efor 1 haftalık çalışmaya karşılık gelmektedir. Ayrıca bu işlemleri yapan personeller vakitlerini verimsiz harcadıklarını düşündüklerinden işlerini yaparken gerekli performansları gösterememektedir.

Tablo 1. Vaka Analiz Adımları

Birim	İş Tanımı	Periyod	İş Yüğü
Muhasebe	Canias sistemine giriş yapılır.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	1 dk
Muhasebe	Canias-191 modülünden istenilen rapor çekilir. Çekilen rapor belirli bir standart hale getirilir.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	5 dk
Muhasebe	Canias-391 modülünden istenilen rapor çekilir. Çekilen rapor belirli bir standart	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	20 dk

	hale getirilir.		
Muhasebe	Canias-FINT80modülünden istenilen rapor çekilir. Çekilen rapor belirli bir standart hale getirilir.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	20 dk
Muhasebe	Canias sisteminden çıkış yapılır.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	20 dk
Muhasebe	Dijital planet sistemine giriş yapılır.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	1 dk
Muhasebe	Sistemde oluşan E - faturalar indirilir.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	5 dk
Muhasebe	Dijital planet sisteminden çıkış yapılır.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	1 dk
Muhasebe	GIB sistemine giriş yapılır.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	1 dk
Muhasebe	Sistemde oluşan E - arşiv faturaları indirilir.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	5 dk
Muhasebe	GIB sisteminden çıkış yapılır.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	5 dk
Muhasebe	Sistemden çekilen ilk raporlar ile Dijital Planet ve GIB faturaları karşılaştırılır.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	600 dk
Muhasebe	Eşleşen ve eşleşmeyen faturalar belirlenir.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	120 dk
Muhasebe	Veriler raporlanarak yöneticiye sunulur.	İşlemler her ayın belirli bir günü yapılır.	60 dk

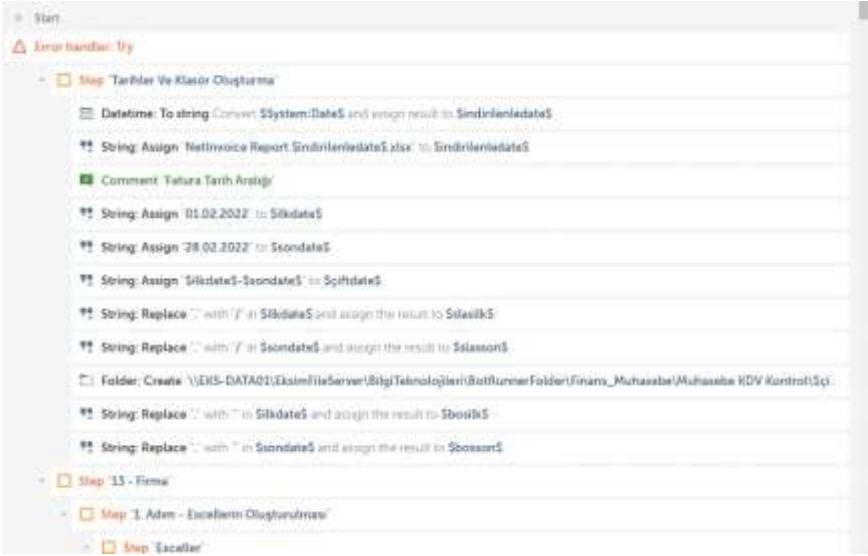


Şekil 4: E-Fatura ve E-Arşiv Canias sisteminde işlemlerin akış şeması

Burada yapılan işlemler her ay tekrarlandığından ve insan kontrollüne çok ihtiyaç duyulmadığından dolayı sürecin robotlara tanıtılarak yapılmasının daha sağlıklı olacağı kararına varılmıştır.

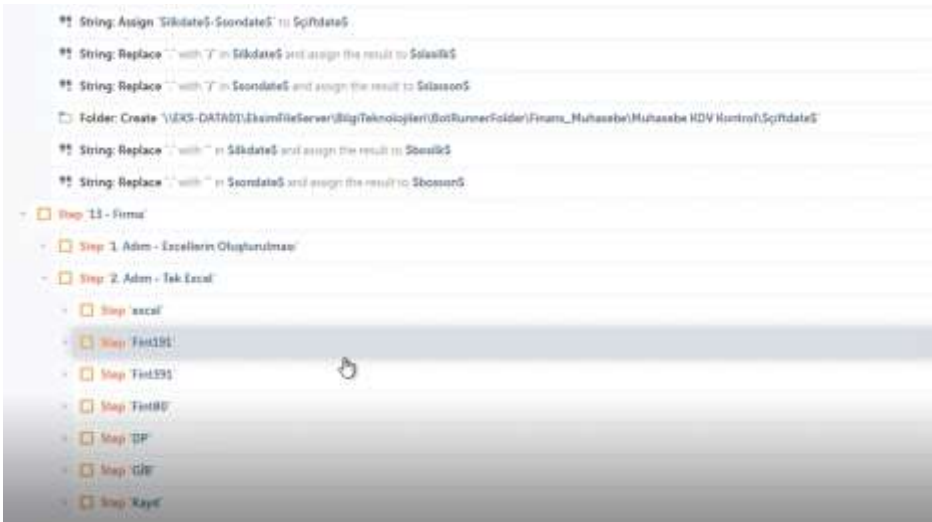
- Öncelikle süreçler detaylı olarak incelenmiştir. İşlemlerin robotlara aktarılması gereken kısımlar belirlenmiştir.
- Robotlara tanıtılan işlemler için şirkette uygulaması satın alınan Automation Anywhere sistemi kullanılması hedeflenmiştir.
- Kullanılması hedeflenen uygulamayı bilen bir ekip belirlenmiştir. Ekipte 2 adet RPA yazılımcı bulunmaktadır.
- Robot tarafından yapılması istenen işlemler uygulama diline çevrilerek sistemlerden raporların alınması sağlanmıştır.
- Robotlar tarafından Canias sistemini açılmakta açılan sistemden İAS191- Dijital Planet sisteminde, İAS391- Gelir İdaresi Başkanlığı sisteminde ve İAS-INT80 ise hem Dijital planet sisteminde hem de Gelir idaresi başkanlığı sistemlerinden kontrol edilmektedir.
- Alınan bu raporlar robot tarafından karşılaştırılması sağlanarak verilen tanımlamaya uyanlar sarı ile işaretlenmiştir.
- Sarı ile işaretlenmeyenler arada kaçan faturayı ifade etmektedir.
- İşaretlenme işlemi yani karşılaştırma işlemi tamamlandıktan sonra ilgili Exceller muhasebe biriminde bu işlemler için oluşturulan gruplara mail olarak atılması sağlanmıştır.

Böylece bu işlemler için harcanan sürenin 1 haftadan 10 dakikaya düşürüldüğü gözlemlenmiştir. Automation Anywhere sisteminde tanılan bazı kodsallı süreçlerin ekran görüntüleri aşağıdaki gibidir:

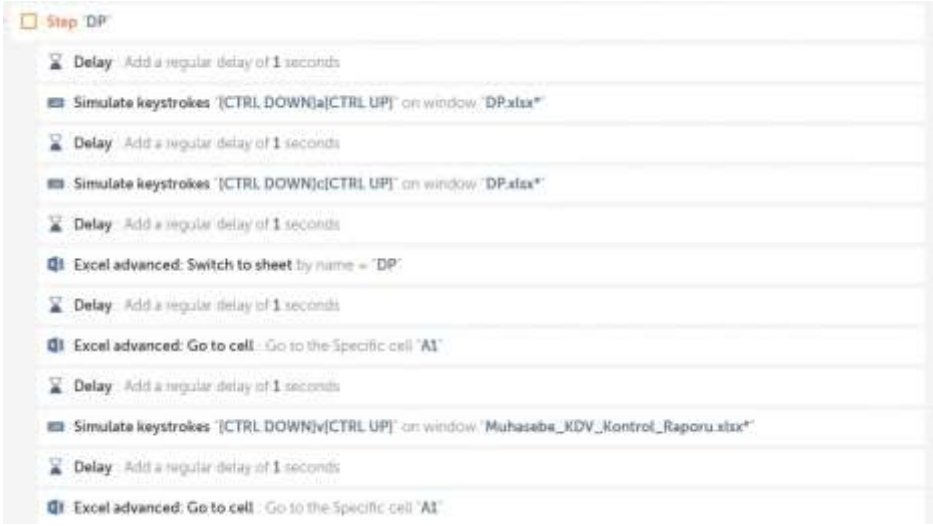


Şekil 5: RPA raporların çekilmesini sağlayan kod

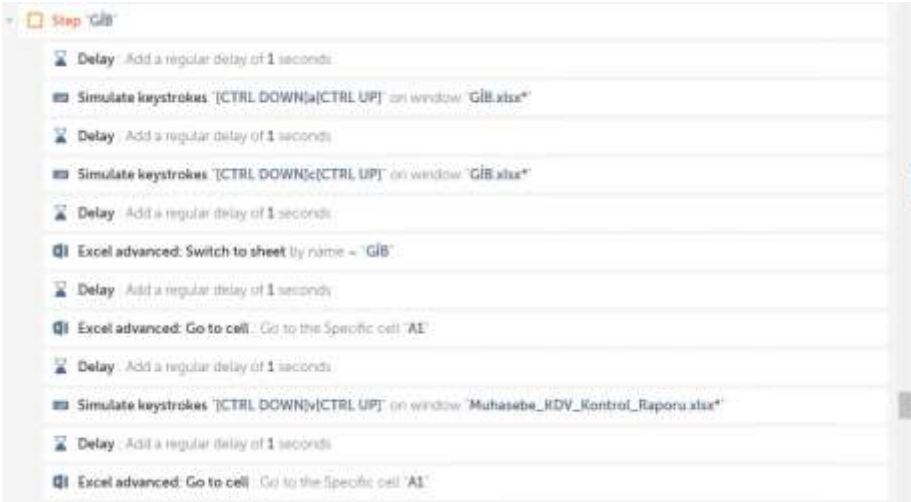
Şekil 5’de RPA de kullanılacak olan tüm raporların aynı formatta olabildiğini sağlayan bir kod yazılımı sağlanmıştır. Bu işlemler her ay yapılacağından indirilen Excellerin formatı ve masaüstünde konumlanacağı konumlar sisteme tanıtılmıştır. Çünkü yapılan tüm işlemlerin bir Excel üzerinde yapılması gerekmektedir.



Şekil 6: GİB ve DP sistemlerine girmeyi sağlayan kod



Şekil 7: Dijital Planet kod kırılımları



Şekil 8: GİB sistemi kod kırılımları

Şekil 6'da; önceden oluşturulan Excel karşılaştırmanın yapılmasını sağlayacak olan sistemlere (bu sistemler fint191, fint391, fint80, Dijital planet ve GİB) nasıl giriş yapılacağı ve indirilmesi gereken Excel tablolarına nasıl ulaşacağı ile ilgili kodsız tanımlamalar yapılmaktadır. Hem Canias sistemindeki hem de devletin fatura sistemi olan web tabanlı programlar ayrı ayrı kişisel şifreler bulunmaktadır. Öncelikle programa bu şifrelere nasıl giriş yapacağı tanıtılır. Hemen

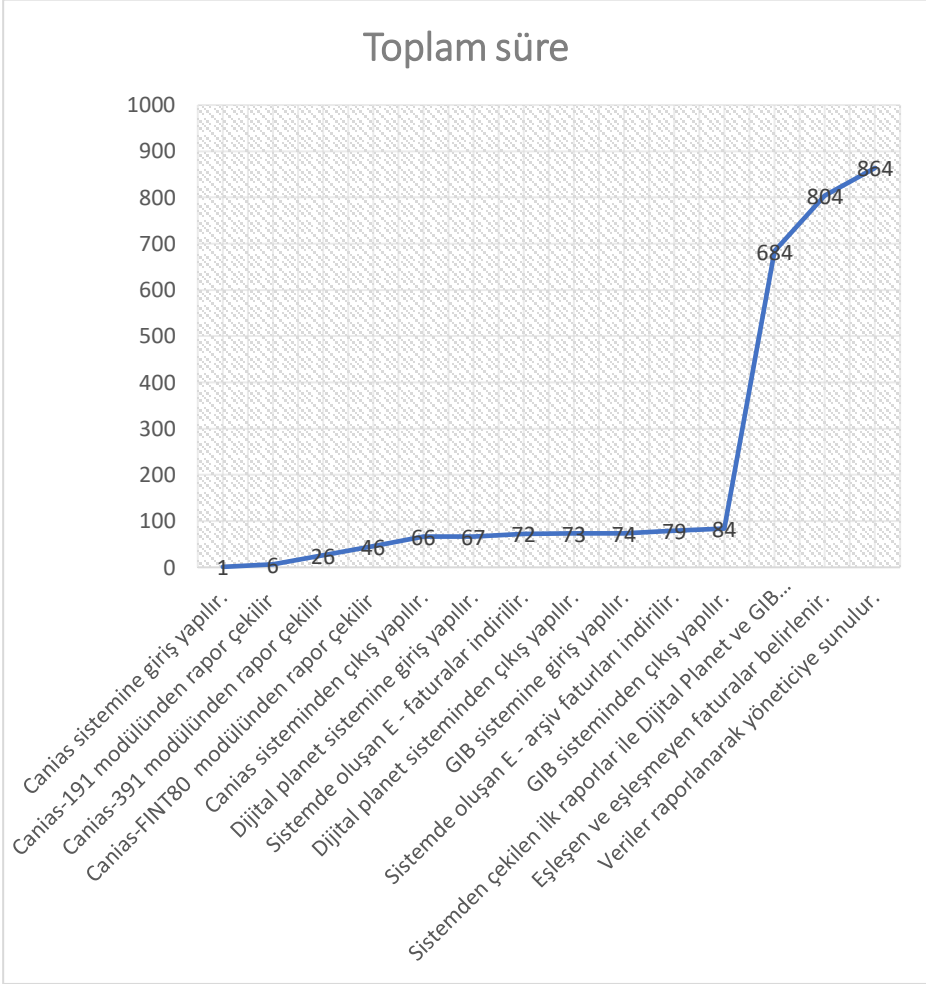
arkasından hangi sistemlerden hangi verileri çekileceği tanıtılıp Şekil 5’de belirtilen formata uygun bir Excel’e aktarılması sağlanır. Excel’e aktarma işlemleri tamamlandıktan sonra Excel’de bulunan tabakalar arasında verileri tanımlanan kurallara göre karşılaştırma yapıp ilgili kurala uyup eşleşen faturalar sarı renk ile belirtilir. Tüm arama işlemleri bitene kadar botlar gerekli karşılaştırmayı yapar. Şekil 7 ve 8’de DP ve GIB sistemlerinin kırım kodları gösterilmiştir.



Şekil 9: Tüm işlemler tamamlandıktan sonra mail atılması

Şekil 9’da, tüm karşılaştırma işlemleri bittikten sonra tanımlanan kullanıcılara bilgilendirme E-Postası gönderilmektedir. Ayrıca sistemde karşılaştırma yapılırken bir hata ile de karşılaşıncaya tanımlı kullanıcıya E-Posta atılmaktadır. Böylece süreç tanımlanmış olmaktadır.

Dağıtım firmasının RPA tarafından yapılması kararlaştırılan süreçler 2 ay boyunca gözlemlenerek ölçümler yapılmıştır. RPA’nın muhasebe biriminde kullanılması sonucunda yaklaşık 6 muhasebe çalışanının yaptığı işlemlerin tamamını bot tek başına gerçekleştirmiştir. Bu sayede çalışan 6 kişinin iş gücünden kazanım sağlayarak bu kişilerin muhasebe de farklı alanlarda çalışması sağlanmıştır. Ayrıca çizelgede belirlenen bu işlemlerin mesai sonrasına ya da başka bir zamana sarkması gibi oluşabilecek risk ve endişeler ortadan kaldırılmıştır. Şekil 10’da muhasebe biriminde yapılan işlemler için geçen süre bilgileri verilmiştir.



Şekil 10: Muhasebe biriminde yapılan işlemler için geçen süre

Görselde de görüldüğü üzere muhasebe biriminde yapılan işlemler için geçen minimum süre 864 dk. dır. Süreçlerin robotlara aktarılması üzerine işlemler için geçen süre 10 dk. gibi kısa bir süredir. Verimlilik hesaplaması aşağıdaki gibidir.

Toplam geçen süre = 864 dk

Robot sonrası aktarılan süre = 10 dk

Kazanılan süre = 864 – 10 = 854 dk

Verimlilik = $854 * 100 / 864 = \% 98.84$ oranında verimlilik sağlanmıştır.

4.2. Tartışma

Günümüz bilgi ve teknolojilerindeki inanılmaz değişimler, dünya pazarlarında küresel koşullardaki değişim muhasebe alanında köklü değişime neden olmuştur. RPA bu değişimlerin ve gelişmelerin sonucu olarak ön plana çıkmaktadır. Muhasebe işlemleri önceden manuel yapılırken RPA ile dijital ortamda yapılabilmektedir. RPA sayesinde muhasebe alanlarında yeni iş sahaları açılacağı ve meslek tanımlarının da değişeceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada dağıtım hizmet sektöründe muhasebe işlemleri açısından önemli yeri olan RPA uygulamaları konusu incelenmiş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. Muhasebe işlemlerinin bilgisayar sistemleri ve yazılımlar ile gerçekleştirileceği düşüncesi, bu araştırmanın sonuçlarının sağlanacak olan verimlilik konularına değinerek firmalar ve sektörler için katma değerini ortaya koymaktadır.

Gelişen teknolojiler ile birlikte RPA bilgi teknolojilerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmektedir. Firmalara, sektörlerle 24 saat kesintisiz ve hatasız kullanım imkânı sunabilmesi gibi imkânları ile giderek daha fazla alanlarla kullanılmaya başlanması öngörülmektedir. Bu çalışmada yapılan uygulamada da görüldüğü bir haftada yapılan işlemler hatasız bir sürede şekilde 10 dk gibi kısa bir sürede yapılmaktadır. Böylece kullanıcılar farklı alanlarda daha verimli çalışabilmektedir. Ancak yapılan hatasız ve kesintisiz işlemleri sağlayan botların insanların yerini alma gibi bir durum ile de karşı karşıyayız. Yani kişilerin yapmış olduğu işlemleri botlara bırakmasıyla kullanıcılara duyulan ihtiyacın ortadan kalkma gibi bir durumu söz konusu olabilmektedir. Bunun ileride tartışılması söz konusu olabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Robotik Süreç Otomasyonu her türlü alanda olduğu gibi muhasebe sektörü içinde vazgeçilmez dijital dönüşüm aracı olmaktadır. Kurulum için alınan abonelik maliyeti hariç herhangi bir maliyetinin bulunmaması, mesai kavramsız çalışması, 7/24 zaman aralığında çalışması, öğretilen işlemleri sıfır hata ile yapması gibi birden fazla faydası bulunan robotik süreçlerin aynı zamanda insan gücünden de sağlanan ekstra verim gibi önemli özellikleri bulunmaktadır. Küresel

anlamda dijitalleşmesi hız kazanan firmaların muhasebe ve finans alanında hatasızlık ve hız müşteri memnuniyeti birinci sırada yer aldığından dolayı robotik süreçler muhasebe ve finans için vazgeçilmez alanlardan biri olacaktır. Birbirini tekrar eden işlerde yer alan yazılım botları çok düşük saniyeler içinde birden fazla komutla çok yoğun zamanlarda belirtilen süreçlere uyum sağlayarak çok fonksiyonlu bir çalışan gibi kullanılabilenmektedir. Ayrıca insan gücünün harcamış olduğu efor muhasebe açısından ölçülüp tartıldığında robotik süreçlerin kullanımı, finans sektöründe çalışanların ücretleri açısından büyük bir eksilme sağlayıp, verimlilikte büyük bir artış sağlayacaktır. Daha önceki literatür çalışmaları incelendiğinde RPA'nın muhasebe ve finans alanındaki azlıkta fark edilmiştir. Bu sebeple yapılan bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Dağıtım sektörünün muhasebe birimindeki bazı işlerin RPA botları ile yapılmasının şirkete sağladığı avantajlar ve bu avantajlar verimlilik açısından faydalarının ölçülmesinin amaçlandığı bu çalışmada, örnek bir dağıtım firmasının muhasebe müdürlüğünde işlemler vaka analizi yöntemiyle incelenmiş ve araştırmalar yapılmıştır. Veri toplama yönteminde seçilen firmanın muhasebe birimindeki ekiplerden süreç ile ilgili gerekli bilgiler alınmıştır. Yapılan işlemler gözlem metoduyla iki ay boyunca gözlemlenmiştir. Bu birimde gerçekleştirilen işlemler ve işlem süreleri raporlanmıştır. Vaka analizinde kullanılacak işlemlerin hangi adımlarının robotlara aktarılacağı ile ilgili Robotik Süreç Analiz uzmanları ve Muhasebe ekibiyle birlikte toplantılar yapılmıştır. Daha sonra belirlenen bu veriler ve adımlar RPA yazılımlarına aktarılmış ve robotlarla yapılması hedeflenmiştir. Kitap bölümünde yapılan verimlilik sonucunda robotların kullanılması ile her ay 6 kişilik bir ekip tarafından bir haftada yapılan bu işlemler robot yazılımlar tarafından tek başına 10 dk da yapılmıştır. RPA'da kullanılan yazılım botları firmalarda çalışan çalışanların harcamış oldukları eforu yardım ederek kullanılan kaynakların verimli kullanılmasını sağlar. Aynı zamanda işlemlerin hatasız, iş gücünden sağlanan tasarruf ve yapılan işlemlerin kesintisiz bir şekilde gerçekleşmesini sağlayarak süreçlerin olumlu yönde ilerlemesini sağlar. Personeller açısından değerlendirildiğinde ise, iş

yükünün minimum düzeye indirilmesi ile yapacağı diğer işlerde daha verimli ve daha titiz davranılacağı, daha dikkatli ve planlı çalışacağı kanaatine varılmıştır. Ayrıca personellerin daha verimli çalışması ile firmanın belirlemiş olduğu sektör hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi sağlanmış olacaktır. Çalışmada, Robotik Süreç Entegrasyonunun insanların süreçlere sağladığı kaynağın azalması, maliyet tasarrufu sağlaması gibi özelliklerle personellerin diğer işlemleri yaparken maksimum düzeyde verimli çalışabileceği ve personellerin daha verimli alanlarda çalışmasına olarak sağlandığı sonucu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen önemli diğer bir sonuç ise; robotik süreçlerin sektörlerden bağımsız finans alanlarında büyük getiri sağlayacağı, müşteri memnuniyeti alanlarında memnuniyet artırıcı ve operasyonel olarak verimlilik sağlayacağı düşünülmektedir. Bu açıdan firmalar tüm tekrarlanan işlemlerinde mümkün olan en kısa sürede süreçlerini robotik yazılım botlarına uygun olacak hale getirmeli ve insan gücünü farklı alanlarda daha verimli olarak kullanmayı hedeflemektedir. Firmaların verimlilik oranlarının artmasında ve yapılan işlemlerin daha başarılı, daha kapsamlı ve hatasız bir şekilde yapılıp buna uygun hizmetler sunmasında RPA yazılım botları uygulamaların kullanılmasının fazlaşmasında ve artmasında çok önemli bir yerde olduğu kanısına varılmıştır.

Bu çalışmanın RPA'nın hem muhasebe hem de diğer firmalar için ışık tutan bir çalışma olacağı düşünülmektedir. Bundan dolayı robotların iş dünyasında başka alanlarda da kullanılabileceği kanısına varılıp hangi alanlarda ne şekilde kullanılacağı konusu ile ilgili gelecekte yeni çalışmalar yapılabilir.

Dağıtım sektörünün muhasebe biriminde ele alınan robotik otomasyon süreçlerinin ileri de yapay zekâ destekleri ile daha üst seviyelere taşınabileceği ön görülmektedir. Örneğin çalışma sonucunda sistemlerde oluşmayan faturaların bilgilerinin içinde bulunduğu excel çalışması personellere mail olarak iletilmektedir. Personeller bu exceldeki faturaları manuel olarak oluşturup sisteme yüklemektedir. Manuel oluşturulan bu faturalar için belirli kural setleri tanıtılarak faturalar yapay zekâ desteği ile ileride yapılabilirliği araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Alkış, G., Piritini, S., ve Ertemel, V.A., 2020. Lojistik Sektöründe Endüstri 4.0 Uygulamalarının Operasyonel Verimliliğe Etkisi. *BMIJ*, 8(1): 371-395.
- Arslan, E., 2021. Robotik Süreç Otomasyonunun Denetimde Kullanımı: Avantajlar ve Zorluklar. İstanbul Bilgi Üniversitesi, Lisansüstü Programlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 113s.
- Atasever, A., 2011. Orta Ölçekli Bir Firmada Kurumsal Kaynak Planlama(ERP) Uyarlama Çalışması ve Bir Üretim Çizelgeleme Uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 147s.
- Automation Anywhere (2022). https://en.wikipedia.org/wiki/Automation_Anywhere Erişim Tarihi: 15.04.2022
- Aydın, E., 2020. Katılım Finansında Robotik Süreç Otomasyonlarının Uygulama Alanlarının Değerlendirilmesi ve Otomasyona Tabi Tutulan Süreçlerin Maliyet ve Süre Açısından Verimlilik Analizi. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 64s.
- Aylak, L.B., Kayıkcı, Y., ve Taş, M.A., 2020. Türkiye’de Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin Dijital Trendlerin İncelenmesi. *Yaşar Üniversitesi Dergisi*, 15(57): 98-116.
- Balasundaram, S. and Venkatagiri, S. (2020). A structured approach to implementing Robotic Process Automation in HR. In *Journal of Physics: Conference Series*. (1427,1).
- Chakraborti, T., Isahagian, V., Khalaf, R., Khazaenİ, Y., Muthusamyv., Rizk, Y., and Unuvar, M., (2020). From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation
- Çalışkan, L.K., ve Kiran S., 2020. İş Süreçlerinin Otomasyonunda RSO’nın Faydaları. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 6(1): 1-13.
- Doguc, O. (2022). Robot process automation (RPA) and its future. In *Research Anthology on Cross-Disciplinary Designs and Applications of Automation* (35-58). IGI Global.

- Görçün, Ö.F., 2018. Lojistikte Teknoloji Kullanımı ve Robotik Sistemler. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10(24): 351368.
- Fernandez, D., and Aman, A. (2018). Impacts of robotic process automation on global accounting services. Asian Journal of Accounting and Governance, 9(1), 127-140.
- Hofmann, P., Samp, C., and Urrbach, N., (2020). Robotic process automation. Electronic Markets, 30(1), 99-106.
- İnan, K., 2020. Robotik Süreç Otomasyonu Kullanarak Çalışan Performans KPI'larının Yapay Sinir Ağları İle Tahmini: Çağrı Merkezi Üzerinde Bir Uygulama. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 81s.
- Kautikwar, T. A., Joshi, K. G. and Bedekar, N. G. (2020). A Study of Role of Emerging Technology in Current Banking Industry, A Case Study of ICICI Bank.
- Karabacak, P., 2019. Farklı Sektörlerde Robotik Süreç Otomasyon Potansiyellerinin İstatistiksel İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 57s.
- Kaya, C.T., Birol, B., ve Türkyılmaz, M., 2019. RPA Teknolojilerinin Muhasebe Sistemleri Üzerindeki Etkisi. Muhasebe ve Finansman Dergisi, 4(1): 02-12.
- Kestane, A., 2021. İç Denetimde Akıllı Sayaç Otomasyon Teknolojilerinin Kullanımı: Robotik Süreç Otomasyonu ve Bilişsel Zeka. Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi, 14(2): 813-835.
- Kurt, D., ve Bozoklu, Ü., 2019. Robot Ekonomisinin Yükselişi. Sosyal Bilimler Metinleri, 1(1): 25-47.
- Kırılmaz, S., 2020. İnsan Kaynakları Yönetiminde Yaşanan Dijital Dönüşüm: İşletmelerin İKY Uygulamalarının Araştırılması. PressAcademia, 7(3): 188-200.
- Osman, C. ve Osman, C. (2019). Robotic Process Automation: Lessons Learned from Case Studies. Informatica Economică, 23(4): 66-75.

- Ostdick, N. (2016). The Evolution of Robotic Process Automation (RPA): Past, Present, and Future. UiPath. <https://www.uipath.com/blog/the-evolution-of-rpa-past-present-and-future> Erişim Tarihi: 10.04.2022
- Özdem, H. ve Bora, M.P., (2022). Türkiye’de Robotik Süreç Otomasyonu. Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi, (1,1): 01-09.
- Özdemirci, F., 2019. Milli e-Arşiv Bilgi Sistemi Ağı ve Veri Merkezi Yapılanma Önerisi: Yenilikçi Teknolojiler-Yeni Nesil Arşivciler-Yapay Zeka ve Ötesi. Bilgi Yönetimi Dergisi, 2(2): 169-176.
- Prp Business Solutins, (2022) <https://prpbs.com/makaleler/rpa-faydalari.html> Erişim Tarihi: 08.02.2022
- Santos, F., Pereira, R., and Vasconceles, J. B. (2019). Toward robotic process automation implementation: an end-to-end perspective. Business Process Management Journal.
- Serçemeli, M. (2018). Muhasebe ve Denetim Mesleklerinin Dijital Dönüşümünde Muhasebe ve Denetim Mesleklerinin Dijital Dönüşümünde Yapay Zekâ. Electronic Turkish Studies, 13(30).
- Strömberg, K. (2018). Robotic Process Automation of office work: benefits, challenges and capability development.
- Syed, R., Suriadi, S., Adams, M., Bandara, W., Leemans, S. J., Ouyang, C., and Reijers, H. A. (2019). Robotic process automation: contemporary themes and challenges. Computers in Industry, 115, 103162.
- Şeker, Y. ve Hoş, S. (2021). Muhasebe Meslek Mensuplarının Dijital Muhasebe Uygulamalarını Kullanımlarına İlişkin Bir Araştırma. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 21 (4).
- Renova (2022). <https://www.renovaconsulting.com/tr/cozumler/uipath-robotik-surec-otomasyonu-rpa> Erişim Tarihi: 08.02.2022
- RPA(Robotik Süreç Otomasyonu) (2022). <http://rpanedir.com/robotik-surec-otomasyonu-rpa/rpanin-faydalari> Erişim Tarihi: 09.02.2022

- Timbadia, D. H., Shah, P. J., Sudhanvan, S. and Agrawal, S. (2020). Robotic Process Automation Through Advance Process Analysis Model, International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), RVS Technical Campus.
- Tiftik, C., 2021. İnsan Kaynakları Yönetiminde Yapay Zeka Teknolojileri ve Uygulamaları. IBAD Sosyal Bilimler Dergisi, 9(1): 374-390.
- Thales Bılısım (2022). <https://thalesbilisim.net/canias-erp-nedir> Erişim Tarihi: 12.05.2022
- Yarlagadda, R. T. (2018). The rpa and ai automation. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), ISSN, 2320-2882.
- Yetiz, F., Turan, Y., ve Canpolat, İ., 2021. Bankacılık Sektöründe Robotik Otomasyonu ve Verimlilik İlişkisi: Bir Banka Örneği. Verimlilik Dergisi, 2(1): 65-80.
- Yıldız, M., ve Yıldırım, B. F., 2018. Yapay Zeka ve Robotik Sistemlerin Kütüphanecilik Mesleğine Olan Etkileri. Türk Kütüphaneciliği, 32(1): 26-32.
- Yılmaz, B., 2021. Elektronik Belge Yönetim Sistemlerinde Robotik Süreç Otomasyonu. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 158s.

BÖLÜM 2

ÇIKARIMSAL METİN ÖZETLEME YÖNTEMLERİ

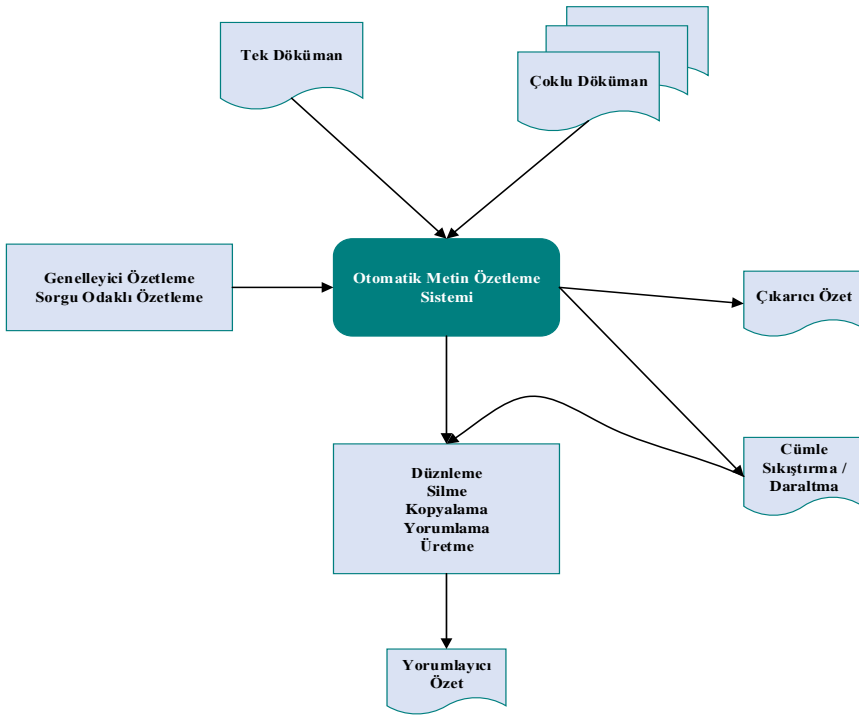
Dr.Öğr.Üyesi Taner UÇKAN¹, Dr.Öğr.Üyesi Cengiz HARK²

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye, taneruckan@yyu.edu.tr, 0000-0001-5385-6775.

² İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, cengiz.hark@inonu.edu.tr, Malatya, Türkiye, 0000-0002-5190-3504.

GİRİŞ

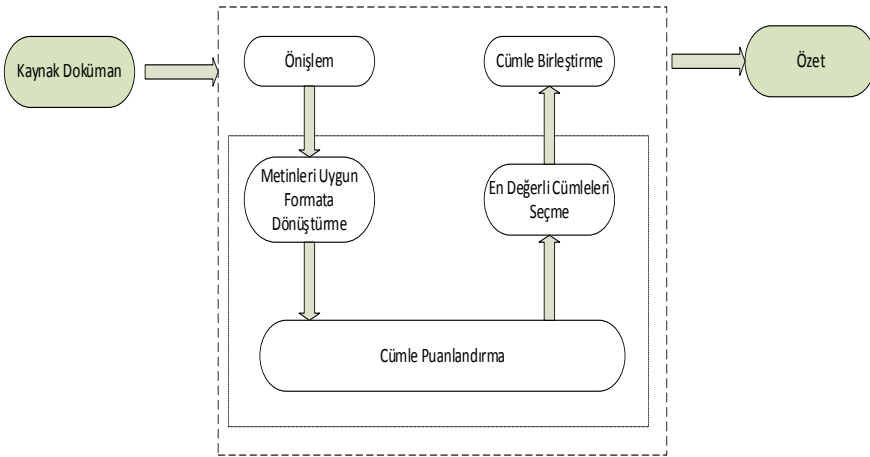
Teknolojinin gelişmesi ve insanların teknolojiyi kullanımının günden güne artması ile birlikte dijital verilerin boyutunda muazzam artışlar olmaktadır. Bu verilerin işlenmesi ve içerisinden anlamlı verilerin elde edilmesi için birçok metin işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler metin sınıflandırma, kümeleme, duygu analizi ve metin özetleme gibi yöntemleri içermektedir. Çevrimiçi bilgi ve metinlerin artmasıyla, metin özetleme, metinsel bilgilerin ana amacını korumak ve göstermek için gerekli ve daha popüler bir alan haline geldi. Büyük metin belgelerini elle özetlemek insanlar için çok zordur. Metin özetleme, belirli bir belgenin sıkıştırılmış formunu otomatik olarak oluşturma, yoğunlaştırma ve bilgi içerik kaynağını genel anlamda daha kısa bir sürümde koruma sürecidir (Rahimi, Mozhdahi, and Abdolahi 2018). Bu çalışmada bir metin özetleme yöntemi olan çıkarımsal metin özetleme yöntemleri üzerinde durulacaktır.



Şekil 1. Kavramsal Diyagram (UÇKAN 2020)

1. OTOMATİK METİN ÖZETLEME NEDİR?

Metin özetleme; aynı veya benzer konularda metinler içeren bir veya daha fazla dokümanda bulunan en önemli bilgileri içeren metin parçasının metinden çıkarılması veya üretilmesi işlemidir (Erhandı 2020). Günümüzde verilerin artış miktarının çok yüksek olması ile birlikte bu verilerinde hızlı bir şekilde analiz edilmesi ihtiyacı doğmuştur. İnternet ortamında hızla artan ve depolanan verilerin büyük bir bölümü ham verilerden oluşmaktadır. Ham veriler belli bir düzeni olmayan bir metin yığını olarak tanımlanmaktadır. Bu metin yığınlarından anlamlı veriler elde edebilmek için çeşitli metin özetleme yöntemleri önerilmektedir. Temelde metin özetleme yöntemleri çıkarımsal ve özetleyici metin özetleme yöntemleri olarak iki ana başlık altında incelenmektedir. Çıkarıcı metin özetleme yöntemleri verilen ham metin verilerinin içerisinden yine bu metinlerde bulunan anlam değerinin yüksek olduğu düşünülen cümle, kelime ve sözcüklerin çıkarılarak özetlerinin oluşturulması ile yapılmaktadır. Özetleyici metin özetleme yöntemlerinde ise var olan metin yığınının işlenmesinden sonra ana metinde bulunmayan yeni cümleler üretilerek metnin özetinin oluşturulması yöntemidir. Bu çalışmada çıkarımsal metin özetlemeden ve literatürde çıkarımsal metin özetleme yapılırken kullanılan yöntemlerden bahsedilmektedir.



Şekil 2. Çıkarımsal metin özetleme modeli

2. ÇIKARIMSAL METİN ÖZETLEME (CÜMLE SEÇEREK ÖZETLEME)

Çıkarımsal metin özetleme yönteminde metinlerde bulunan önemli ve değerli olduğu düşünülen cümleler üzerinden gidilerek istatistik ve sezgisel algoritma yöntemleri kullanılarak özet çıkarılmaktadır (Erhandı 2020). Çıkarıcı metin özetleme, metinden çıkarılacak cümleleri bulmak için özelliklerin (kelime/ifade sıklığı, konum veya işaret sözcükleri gibi) istatistiksel analizine dayalı olarak ana metin parçalarının (cümleler veya sözcükler) çıkarılmasıyla oluşturulur. En sık kullanılan içerik veya en uygun konuma sahip içerik en önemli içerik olarak kabul edilir. Bu yaklaşım metnin derinlemesine anlaşılmasını gerektirmez (Saziyabegum and S. 2016). Çıkarımsal metin özetleme iki temel adım takip edilerek gerçekleştirilir. İlk adım olarak metin ön işleme adımları ve ikinci adım da ise cümlelerin önem derecelerini belirlemek için ağırlıklandırma veya puanlama yöntemleri kullanılmaktadır. Doğal dil işleme uygulamalarının diğer uygulamalardan farklı ve daha karmaşık olan yönleri bulunmaktadır. Doğal dil işlemede üzerinde çalışılan veriler tamamen metinsel verilerden oluşmaktadır bu da metinlerin anlamlandırılması ve değerlendirilmesi için kullanılan algoritmalara uygun olmamaktadır. Metinleri algoritmalara uygun hale getirebilmek ve doğru matematiksel formlarda temsilini sağlamak için bir ön işlem aşamasından geçirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden metin ön işleme aşamaları metinler ile ilgili yapılan bütün çalışmalarda hayati bir önem arz etmektedir.

Metin ön işleme yapılırken temel olarak öncelikle bütün karakterler büyük küçük harf sıkıntılarından arındırmak amacıyla küçük harfe dönüşümleri sağlanmaktadır. Ön işlem adımlarından sonra cümlelerde anlam taşımayan kelimeler denilen durağan kelimeler cümlelerden kaldırılarak hem boyut azaltılmış olmakta hem de anlam taşımayan kelimelerin sayısının çok fazla olacağından daha sonra matematiksel olarak çok anlamlı görünmelerinin önüne geçilmektedir. Durağan kelimeler metinden kaldırıldıktan sonra geriye kalan kelimeler içerisinden benzer anlamlar taşıyan fakat önüne veya arkasına almış olduğu eklerden kaynaklı olarak farklı yazılışa sahip kelimeleri de aynı formda temsilini sağlamak amacıyla kelime köklerine inme işlemi

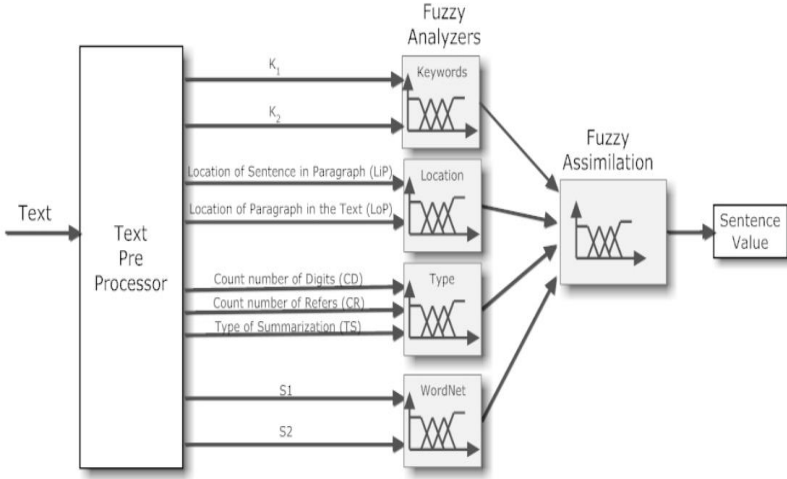
yapılmaktadır. Yukarıda belirtilen adımlar tamamlandıktan sonra metinde bulunan kelimelere tokenleştirme işlemine tabi tutularak matematiksel formda temsili sağlanmaktadır (Denny and Spirling 2018; Saad 2010; Vijayarani et al. 2015).

Metinlerde bulunan cümle ve kelimelerin puanlandırılması ise ön işlem adımları tamamlandıktan sonra yapılmaktadır. Cümle ve kelimelere değer atama veya bir diğer deyişle ağırlıklandırma yapılırken matematiksel veya istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır (Luhn 1800). Cümlelere veya kelimelere değer atanırken cümle frekansları, konumları gibi istatistiksel yöntemler ile beraber cossinüs benzerliği, jaccard ve dice benzerliği ve aynı zamanda çizge tabanlı yöntemlerde kullanılmaktadır.(Erhandı 2020; Gambhir and Gupta 2022; HARK 2020; C. Hark et al. 2017).

3. ÇIKARIMSAL METİN ÖZETLEME YÖNTEMLERİ

3.1 Bulanık mantık yaklaşımı

Bulanık mantık tabanlı yaklaşımlar, bir metnin her bir özelliğini bulanık sistemin girdisi olarak kabul eder. Bu yöntemler, önemli cümleleri tespit etmek ve çıkarmak için yalnızca bulanık mantığı kullanılmaktadırlar. Bulanık metin özetleme yöntemleri, öznitelik çıkarma, bulanık kurallar, dilsel değişkenler, üyelik fonksiyonları, bulanıklaştırma ve durulaştırma yöntemlerindeki farklılıklara göre değişiklik göstermektedir (Rahimi, Mozhdahi, and Abdolahi 2018). Bulanık mantık temelli metin özetleme sistemlerinde özeti çıkarılacak metinlerden özete koyulacak cümlelerin seçiminde bulanık sistem yapılarından faydalanılmaktadır. Değerli cümlelerin tespit edilmesi için öznitelik çıkarım teknikleri kullanılmaktadır. Öznitelik çıkarma tekniğinde, özniteliklerin bazıları daha fazla, kimileri daha az öneme sahiptir, bu nedenle hesaplamalarda denge ağırlığına sahip olmaları gerekir. Literatürdeki bulanık ilgili çalışmalarda ve bu sorunu çözmek için her öznitelik için üyelik fonksiyonu tanımlayarak bulanık mantık kullanılmaktadır (Dixit 2012).



Şekil 3. Bulanık sistem yaklaşımı ile metin özetleme modeli (Kyoomarsi et al. 2008)

3.2 TF- IDF Yaklaşımı

TF-IDF, kayıtların Terim Frekansı Ters Belge Frekansı anlamına gelir. Bir dizi veya veri kümesindeki bir kelimenin bir metinle ne kadar ilgili olduğunun hesaplanması olarak tanımlanabilir (Pratik et al. n.d.). TF metinde bulunan terimlerin hangi sıklıkta olduğuyula ilgilenir. Bir veri setindeki kelimelerin sadece TF değerleri ile ağırlık verilmesi yanlış sonuçlar üretebilmektedir. Bunu sebebi olarak ise bir metinde sıklıkla geçen bir kelimenin çok anlam taşımayan genel geçer bir kelime olabileceğinden kaynaklanmaktadır. Bu problemin çözümü için Ters terim frekansı ile birlikte kullanılmaktadır. Ters terim frekansın da ise bir kelimenin sıklığı ne kadar az ise daha önemli bir kelime olduğu düşünülmektedir. TF-IDF yaklaşımını kullanan metin özetleme yöntemlerinde cümlelere $TF \times IDF$ formülü ile ağırlıklar atandıktan sonra en yüksek değerli cümleler tespit edilir ve oluşturulacak özet boyutu kadar değerli cümle seçilerek nihai özet elde edilir (Cengiz Hark et al. 2017).

3.3 Kümeleme tabanlı yaklaşım

Belgeler genellikle farklı konuları birbiri ardına düzenli bir şekilde ele alacak şekilde yazılır. Normalde açıkça veya örtük olarak

bölgümlere ayrılırlar. Bu organizasyon, belgelerin özetleri için bile geçerlidir. Özetlerin, belgelerde görünen farklı “temaları” ele alması gerektiğini düşünmek sezgiseldir. Bazı özetleyiciler bu yönü kümeleme yoluyla dahil eder. Özetin üretildiği belge koleksiyonu tamamen farklı konulardan oluşuyorsa, anlamlı bir özet oluşturmak için belge kümeleme neredeyse zorunlu hale gelir (Mohammed 2013). Tekli veya çoklu metin özetleme sistemlerinde kullanılan bir diğer çıkarımsal metin özetleme yaklaşımı olan kümeleme yaklaşımında üzerinde çalışılan metin verilerinde cümleler arası benzerlik ölçütleri kullanılarak cümlelerin benzerlikleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan benzerlik değerleri baz alınarak cümleler kümelenecek belirlenen algoritmaya uygun olarak ilgili cümleler seçilerek özete konulmaktadır. Kümeleme yöntemlerinde cümleler arası benzerlik hesaplanırken jaccard, dice ve cossinüs benzerlik değerleri kullanılmaktadır. Bu değerlerle birlikte cümlelerin dokümanda bulunduğu pozisyon, cümlede bulunan kelime sayısı gibi bazı diğer parametrelerde dikkate alınarak benzerlik değerleri hesaplanarak kümeleme işlemi yapılabilmektedir (Rajasekaran and R. Varalakshmi 2018).

3.4 Sorgu tabanlı yaklaşım

Oluşturulacak özetlerin kapsamı dikkate alınarak üretilen özetler sorgu bazlı ve genel özetler olarak sınıflandırılmaktadır (HARK 2020). Sorgu bazlı özetleme sistemlerinde oluşturulacak özetler kullanıcı tarafından verilecek bazı önemli kelimeler dikkate alınarak oluşturulan özetleme yöntemidir. Bu özetleme yöntemleri genellikle bir konu hakkındaki anahtar kelimeler baz alınarak en ilgili cümlelerin seçilip özete konulması üzerine çalışmaktadır. Bu yöntemde cümleler ve kelimelerin değerlilikleri veya uygunlukları belirlenirken çoğunlukla frekanslarından faydalanılmaktadır. Belirlenen cümleler ve kelimeler tekrar sayıları dikkate alınarak bir değer ataması yapılır bu değer atamasına ek olarak belirlenen anahtar kelimeleri içeren cümle ve kelimelere bulunduğu taktirde bu yapılar ek bir puanlama daha eklenerek öne çıkmaları sağlanmaktadır. Puanlama işlemleri tamamlandıktan sonra en yüksek puana sahip cümleler seçilerek nihai özet oluşturulmaktadır. Bu yaklaşım ile oluşturulan özetler dokümanın

genel özetini oluşturmaktan ziyade kullanıcı tarafından belirlenen belirli kelimeleri içeren ve belirli bir konuya yönelik özetler oluşturmaktadır. Bu yönü ile genel metin özetleme yöntemlerinden ayrılmaktadır (Rajasekaran and R. Varalakshmi 2018) .

3.5 Makine öğrenmesi tabanlı yaklaşım

Makine öğrenmesi insanların büyük zamanını alacak metin dokümanlarının anlamlı özetini oluşturmak amacı ile kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Makine öğrenmesine dayalı sunulan çeşitli özetleme modellerinde çoğunlukla verilen metinde bulunan cümlelerin sınıflandırılması ile yapılmaktadır. Cümlelerin özetinde bulunup bulunmayacaklarını belirlemek için LSA,Seq2SEq ve takviyeli öğrenme modellerinden faydalanılmaktadır (Automatic Text Summarization with Machine Learning — An overview | by Luís Gonçaves | luisfredgs | Medium n.d.). Bu modelde popüler SVM, DT, LR, RF ve KNN gibi makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak metin özetleri elde edilmektedir (Abdi et al. 2018).

3.6 Çizge tabanlı yaklaşım

Yapısal olarak bakıldığında çizgeler düğüm ve bu düğümleri birbirlerine bağlayan kenarlardan oluşmaktadır (Cengiz Hark et al. 2019). Bu modelde, bir belge veya belge kümesini temsil etmek için cümle tabanlı çizgeler kullanılmaktadır. Çizge tabanlı modeller çıkarımsal metin özetleme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir modeldir (Erkan and Radev 2004; Cengiz Hark, Uçkan, and Seyyarer, Abubekir Karci 2018; Mihalcea 2004; Uçkan and Karci 2019). Verilen dokümanlar üzerinde metin ön işlem adımlarından sonra metinler üzerinde çizgeler oluştururken metinde bulunan her bir cümle Düğüm denilen yapıları cümleler arasındaki ortak kelimeler ise kenar ağırlıklarını ve düğümler arasında bağlantı olup olmadığını belirlemektedir. Cümleler arasındaki kenar değerlerinin yüksek olması cümleler arasındaki anlam benzerliğinin ve aynı konudan bahsetme ihtimallerinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Bu yüzden bu bağlantı değerleri hesaplanırken çeşitli istatistiksel ve matematiksel yapılardan faydalanılmaktadır. Çizge temelli metin özetleme sistemlerinde kenar ve düğüm değerleri belirlendikten sonra çizgede

bulunan en değerli düğümlerin en değerli cümleler olduğu düşünülerek özete seçim işlemi yapılmaktadır. En değerli düğüm belirleme işlemi yapılırken arasındalık merkeziliği, yakınlık merkeziliği, derece merkeziliği gibi çizge merkezilik yapılarından faydalanılmaktadır.

(0)Erich Honecker, the former GDR head of state, died at his house in Santiago, Chile on Sunday morning [29 May], according to his lawyer.

(1) Lawyer Nicolas Becker, who had represented 81-year-old Honecker before the Berlin court in 1992 and early 1993, told DPA on Sunday afternoon that Honecker had rejected an operation.

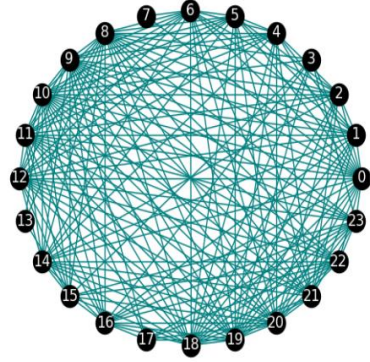
(2) Becker could not comment on the exact cause of Honecker's death.

.....

.....

(22) "You traitor!" 82-year-old former security chief Erich Mielke shouted at Honecker, according to Bild newspaper.

(23) Mielke also screamed at Honecker "I'll break your neck!" the newspaper quoted witnesses as describing the scene when the two met in an East German jail.



Şekil 4. Metinlerin çizgelere dönüşümü (UÇKAN 2020)

3.7 LSA tabanlı yaklaşım

Gizli anlamsal analiz (LSA), bağlamsal kullanımları temelinde terimlerin, cümlelerin veya belgelerin anlamsal temsilinin gizli boyutlarını çıkarmak için kullanılan bir tekniktir (Republic 2009). Herhangi bir eğitim veya dış bilgi gerektirmeyen denetimsiz bir yaklaşımdır (Ozsoy, Alpaslan, and Cicekli 2011). Belge kelime matrislerine uygulanan SVD, ortak kelimeleri paylaşmasalar bile anlamsal olarak birbiriyle ilişkili belgeleri gruplandırdığı için LSA olarak adlandırılmıştır (Saziyabegum and S. 2016). Cümleler arasında bulunan kelime benzerliklerinden kaynaklanan benzerlik değerlerinin yanı sıra anlamsal bağlamları çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Verilen metinlerden elde edilen cümle ve kelime matrisleri kullanılarak bağlamsal sonuçlar elde edilmektedir. LSA herhangi bir dış bilgi veya eğitim gerektirmeyen denetimsiz bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda temel amaç cümle ve kelimeler arasındaki bağlamsal ilişkiyi belirlemektir.

3.8 Yapay sinir ağı tabanlı yaklaşım

Çıkarımsak metin özetleme sistemlerinde kullanılan ilk modellerde çoğunlukla istatistiksel ve dilsel özellikler yardımı ile cümle puanlama yapılarak özete gidilmekteydi. Son yıllarda Derin öğrenmenin gelişmesinden bu yana, sinir tabanlı özetleyiciler, otomatik özetleme için büyük ilgi görmektedir. Geleneksel modellerle karşılaştırıldığında, sinir tabanlı modeller, eğitim verilerinin bol olması durumunda daha az insan katılımıyla daha iyi performans elde etmektedir (Dong 2018). Derin öğrenme temelli yaklaşımlar kullanılarak verilen dokümanların daha iyi anlaşılması ve daha tutarlı özetlerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Ancak derin öğrenme modelleri kullanılırken cümlelerden daha anlamlı özellikler çıkarılması için büyük miktarda veri ihtiyacı bulunmaktadır. Bu veriler ile önceden eğitilmiş modeller kullanılarak verilen sistemlerin eğitilmesi sağlanmaktadır. Word2vec , Glove , Fastext gibi sinir ağı temelli kelime gömme modelleri kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Gambhir and Gupta 2022).

4. SONUÇ

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ve internete ulaşımında oldukça kolay hale gelmesi ile birlikte insanların internet tabanlı ürünlerde geçirdiği zamanda aynı oranda artmaktadır. Sosyal medya platformları, bloklar, haber siteleri, eğitim siteleri gibi sayısızca bilgi üretiminin olduğu web siteleri aynı zamanda ham veri olarak isimlendirdiğimiz herhangi bir düzeni olmayan verilerin üretim merkezleri olduklarını söylemek doğru olur. Ham veriler herhangi bir düzeni olmayan, kelimelerin kısaltmalarını içerebilen, anlamlı veya anlamsız karakterler içerebilen metin kümeleri olarak isimlendirilmektedir. Metinsel verilerin bu kadar olağan üstü artması doğru bilgiye erişimi ve bu bilgilerden anlamlı ve tutarlı sonuçlar çıkarılma sürecinide uzatmaktadır. İşte tam bu noktada Doğal dil işlemenin alt çalışma alanlarından olan otomatik metin özetleme

sistemleri devreye girmektedir. Otomatik metin özetleme sistemleri ile büyük çaplı yapısal veya yapısal olmayan, tek veya çok belgeli veri kümelerinin taşıdığı bilgileri kısa sürede küçük boyutta üretilmesi işlemini yapmaktadır. Bu sistemler temel olarak çıkarıcı ve soyutlayıcı metin özetleme sistemleri olarak iki modelde yapılabilmektedir. Bu çalışmada çıkarıcı metin özetleme sistemlerinde kullanılan belirli modellerden bahsedilerek kısaca hangi amaç için kullanıldıkları ve nerelerde kullanıldıkları hakkında bilgiler verilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdi, Asad, Siti Mariyam Shamsuddin, Shafaatunnur Hasan, and Jalil Piran. 2018. "Machine Learning-Based Multi-Documents Sentiment-Oriented Summarization Using Linguistic Treatment." *Expert Systems with Applications* 109: 66–85. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.010>.
- "Automatic Text Summarization with Machine Learning — An Overview | by Luís Gonçalves | Luisfredgs | Medium." <https://medium.com/luisfredgs/automatic-text-summarization-with-machine-learning-an-overview-68ded5717a25> (September 2, 2022).
- Denny, Matthew J., and Arthur Spirling. 2018. "Text Preprocessing for Unsupervised Learning: Why It Matters, When It Misleads, and What to Do about It." *Political Analysis* 26(2): 168–89.
- Dixit, Rucha S. 2012. "Improvement of Text Summarization Using Fuzzy Logic Based Method." *IOSR Journal of Computer Engineering* 5(6): 05–10.
- Dong, Yue. 2018. "A Survey on Neural Network-Based Summarization Methods." : 1–16. <http://arxiv.org/abs/1804.04589>.
- Erhandı, Burak. 2020. "Derin Öğrenme İle Metin Özetleme." : 34. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/97078>.
- Erkan, Güneş, and Dragomir R. Radev. 2004. "LexRank: Graph-Based Lexical Centrality as Salience in Text Summarization." *Journal of Artificial Intelligence Research* 22: 457–79.
- Gambhir, Mahak, and Vishal Gupta. 2022. "Deep Learning-Based Extractive Text Summarization with Word-Level Attention Mechanism." *Multimedia Tools and Applications* 81(15): 20829–52.
- Hark, C., A. Seyyarer, T. Uçkan, and A. Karci. 2017. "Doğal Dil İşleme Yaklaşımları İle Yapısal Olmayan Dökümanların Benzerliği." In *IDAP 2017 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium*,.
- HARK, CENGİZ. 2020. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü "Metin Çizgelerinde Entropi Ve Optimizasyon Tabanlı

- Çıkarımsal Metin Özetleme.” <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.07.001>
- Hark, Cengiz, Abubekir Seyyarer, Taner Uçkan, and Ali Karci. 2017. “Doğal Dil İşleme Yaklaşımları İle Yapısal Olmayan Dökümanların Benzerliği.” In *IDAP 2017 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium*, , 1–6.
- Hark, Cengiz, Taner Uçkan, and Ali Seyyarer, Abubekir Karci. 2018. “Metin Özetleme İçin Çizge Tabanlı Bir Öneri.” In *IDAP 2018 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium*,.
- Hark, Cengiz, Taner Uçkan, Ebubekir Seyyarer, and Ali Karci. 2019. “Graph-Based Suggestion For Text Summarization.” *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing, IDAP 2018*.
- Koopman, Bevan et al. 2012. *Graph-Based Concept Weighting for Medical Information Retrieval*. <http://www.lemurproject.org>. (January 7, 2019).
- Kutlu, Mücahid, Celal Çiğir, and Ilyas Cicekli. 2010. “Generic Text Summarization for Turkish.” In *Computer Journal*, IEEE, 1315–23. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5291848/>.
- Kyoomarsi, Farshad et al. 2008. “extraction-based text summarization using fuzzy analysis.” *Proceedings - 7th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, IEEE/ACIS ICIS 2008, In conjunction with 2nd IEEE/ACIS Int. Workshop on e-Activity, IEEE/ACIS IWEA 2008* (March 2015): 347–52.
- Luhn, H P. 1800. *The Automatic Creation of Literature Abstracts**. <http://courses.ischool.berkeley.edu/i256/f06/papers/luhn58.pdf> (April 26, 2019).
- Mihalcea, Rada. 2004. “Graph-Based Ranking Algorithms for Sentence Extraction, Applied to Text Summarization.” *Proceedings of the ACL 2004 on Interactive poster and demonstration sessions - 85:* 20-es. <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1219044.1219064> (February 14, 2019).

- Mohammed, Sabah. 2013. "Introducing the New JETWI Associate Editor-in-Chief." *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence* 5(1): 1.
- Ozsoy, Makbule Gulcin, Ferda Nur Alpaslan, and Ilyas Cicekli. 2011. "Text Summarization Using Latent Semantic Analysis." *Journal of Information Science* 37(4): 405–17.
- Pratik, Dhumal et al. "Text Summarizer Using NLP Department of Computer Engineering VasantDada Patil Pratishthan 's College of Engineering University of Mumbai."
- Rahimi, Shohreh Rad, Ali Toofanzadeh Mozhdehi, and Mohamad Abdolahi. 2018. "An Overview on Extractive Text Summarization." *2017 IEEE 4th International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation, KBEI 2017* 2018-Janua: 0054–0062.
- Rajasekaran, Abirami, and Dr R. Varalakshmi. 2018. "Review on Automatic Text Summarization." *International Journal of Engineering & Technology* 7(3.3): 456.
- Republic, Czech. 2009. "evaluation measures for text summarization Josef Steinberger , Karel Jeř Zek." *Computing and Informatics* 28(2): 1001–25.
- Saad, Motaz. 2010. "The Impact of Text Preprocessing and Term Weighting on Arabic Text Classification." : 112. <http://site.iugaza.edu.ps/msaad/files/2012/05/mksaad-Arabic-text-classification-MSc-Thesis-2010-rev9.pdf>.
- Salton, Gerard, and Christopher Buckley. 1988. "Term-Weighting Approaches in Automatic Text Retrieval." *Information Processing & Management* 24(5): 513–23. (January 24, 2019).
- SaziyaBegum, Saiyed, and Priti S. 2016. "Literature Review on Extractive Text Summarization Approaches." *International Journal of Computer Applications* 156(12): 28–36.
- UÇKAN, Taner. 2020. 68 inönü üniversitesi fen bilimleri enstitüsü metin "metin çizgelerinde bağımsız kümelere dayalı çıkarımsal metin özetleme." <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.07.001>
- Uçkan, Taner, and Ali Karcı. 2019. "Extractive Multi-Document Text

Summarization Based on Graph Independent Sets.” *Egyptian Informatics Journal* (xxxx).

Vijayarani, S et al. 2015. “Preprocessing Techniques for Text Mining - An Overview.” *International Journal of Computer Science & Communication Networks* 5(1): 7–16.

BÖLÜM 3

KARAR AĞAÇLARI: ALGORİTMALAR, BÖLÜNMELELER VE BUDAMA*

Öğr. Gör. Dr. Uğur ERCAN¹, Prof. Dr. Sezgin IRMAK²

*Bu kitap bölümü Uğur ERCAN'ın "Veri Madenciliği ile Hanehalkı Yağ Tüketiminin Modellenmesi" başlıklı Doktora Tezinden üretilmiştir.

¹Akdeniz Üniversitesi, Enformatik Bölüm Başkanlığı, Antalya, Türkiye. ugurercan@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-9977-2718

²Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Antalya, Türkiye. sezgin@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-2188-7344

GİRİŞ

Karar ağaçları, etkili, parametrik olmayan, yoğun hesaplama gerektiren, sınıflandırma ve regresyon problemlerine uygulanabilen yöntemlerden biridir (Sutton, 2005: 303). Bu yöntem, geniş bir kayıt koleksiyonunu basit ardışık bir dizi kurallar uygulayarak daha küçük kayıtlar kümesine bölen bir yapıdır. Birbirini izleyen her bölme ile ortaya çıkan setlerin üyeleri birbirine daha çok benzemektedir (Berry ve Linoff, 2004: 166). Karar ağaçları, boş olmayan düğümler (nodes) ve kenarlar (edges) kümesi içeren sonlu bir graf gibi tasvir edilebilir. A düğümünden B düğümüne giden bir yol düşünelim ($A \neq B$), A düğümü B düğümünün atası (üst düğümü), B düğümü ise A düğümünün soyundan gelmektedir. B düğümüne çocuk düğüm ya da alt düğüm denir. Soyundan gelen düğümü olmayan, başka bir ifade ile alt düğümü olmayan düğümlere ise yaprak ya da terminal düğüm denir. Kök hariç diğer tüm düğümlere ise iç düğüm denir. Buna ek olarak, kök düğümünden diğer düğümlere sadece benzersiz (eşsiz) bir tek yol vardır. Derinlik ve genişlik kavramları da karar ağaçları ile ilgili diğer önemli kavramlardır. Ağacın ortalama derinliği, kök düğümünden terminal düğüme kadar seviyelerin ortalama sayısıdır. Ağacın her seviyesindeki iç düğümlerin ortalama sayısı ise ağacının ortalama genişliği olarak ifade edilir. Karar ağacının hem derinlik ve hem de genişliği, ağacın karmaşıklık göstergeleridir. Bunların yüksek değerlere sahip olması karar ağacının daha karmaşık olduğunu gösterir (Barros vd., 2015: 8).

Karar Ağaçlarının Avantajları ve Dezavantajları

Literatürde karar ağaçlarının çeşitli avantajlarına işaret edilmiştir, bunlar; (Gehrke, 2003: 4; Rokach ve Maimon, 2015: 81; Ercan, 2021: 234)

- Basit ve anlaşılabilir.
- Yorumlanması kolaydır.
- Kurallar kümesine dönüştürülebilir.
- Hem kategorik (nominal, ordinal) hem de sürekli girdi özniteliklerini işleyebilir.

- Hatalı/eksik değerler içeren veri setlerini işleme yeteneğine sahiptir.
- Hızlı bir şekilde eğitilirler.

Diğer yandan karar ağaçlarının bazı dezavantajları vardır, bunlar (Rokach ve Maimon, 2015: 82-83);

- ID3 ve C4.5 gibi algoritmaların çoğu hedef özniteliğin sadece kesikli değerler olmasını gerektirmektedir.
- Karar ağacı “böl ve yönet” metodunu kullanırlar, eğer birkaç yüksek alakalı öznitelik varsa iyi bir performans gösterme eğilimindedir, fakat daha çok karmaşık etkileşimler varsa daha az performans gösterme eğilimindedirler.
- Alakasız özniteliklere ve gürültüye karşı olan aşırı duyarlılık, karar ağaçlarını dengesizleştirir. Köke yakın bir bölünmedeki küçük bir değişiklik bütün alt ağacı değiştirecektir.
- Parçalanma problemi, verinin daha küçük parçalara bölünmesine neden olur. Bu durum genelde, birçok özellik yol boyunca test edildiğinde yaşanır.
- Eksik değerler ile başa çıkma yeteneği avantaj olarak kabul edilmekle birlikte, bu yeteneği elde etmek için aşırı çaba gösterme bir dezavantaj olarak kabul edilir.

1. Karar Ağacı Algoritmaları (İndükleyicileri) ve Karar Ağaçlarının Oluşturulması

Karar ağacı algoritmaları veri setinden otomatik olarak bir karar ağacı oluşturan algoritmalarlardır. Genellikle hedef, genelleme hatasını minimize ederek optimal ağacı elde etmektir. Düğüm sayısını en aza indirmek veya ortalama derinliği en aza indirmek gibi diğer hedef fonksiyonları da tanımlanabilir (Rokach ve Maimon, 2010: 151). Karar ağacı algoritmaları, ağacın oluşturulması ve budama olarak adlandırılan iki aşamadan oluşmaktadır. Birçok karar ağacı oluşturma algoritmalarında ağaç yukarıdan aşağıya doğru büyür. Veri tabanında kök düğümden başlayarak her düğümden bölünme koşulunu seçmek için

“bölünme seçim metodu” uygulanmıştır ve bu süreç özyinelemeli olarak devam eder (Sumathi ve Sivanandam, 2006: 157).

Karar ağaçları oluşturulurken tercih edilen algoritmaya göre ağacın yapısı ve görüntüsü değişmektedir. Literatürde geliştirilen çok sayıda algoritma bulunmaktadır ve bu algoritmalar kök düğüm, düğüm ve bölünme kriteri seçimlerinde izledikleri yol gibi birçok açıdan farklılık göstermektedirler (Tapkan vd., 2011: 249). Karar Ağacı algoritmaları ve gelişim süreçlerini incelediğimizde (Sutton, 2005: 304);

- 1960 yılında Morgan ve Sonquist (1963) tarafından AID’in (Automatic Interaction Dedection) oluşturulmasıyla gelişmeye başlamıştır.
- 1970’lerde Morgan ve Messenger (1973) tarafından sınıflandırma ağaçları oluşturmak için THAID (Teta AID) geliştirilmiştir.
- THAID kökenli bir metot olan CHAID, Kass (1980) tarafından geliştirilmiştir.
- 1980’li yıllarda istatistikçiler Breiman vd. (1984) tarafından CART geliştirilmiştir.
- Makine öğrenmesi topluluğu sınıflandırma problemlerinde kullanılması için karar ağaçları oluşturan birçok algoritma geliştirmişlerdir. Bunlar arasında Quinlan (1986)’ın son derece popüler olan ID3, ID3 kökeninden gelen C4.5 Quinlan (1993) ve Quinlan’ın yeni algoritması See5/C5 bulunmaktadır.
- QUEST metodu Loh ve Shih (1997) tarafından geliştirilmiştir.

Karar ağacı indükleyicilerinin genel bir değerlendirmesi Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1: Karar Ağacı İndükleyicilerinin Genel Değerlendirilmesi

Algoritma	Girdi Değişkeni	Çıktı Değişkeni	Tahmin Türü	Meydana Gelen Dal Sayısı	Bölünme Kriteri
CHAID	Kategorik, Nümerik	Kategorik, Nümerik	Sınıflandırma, Regresyon	≥ 2	Ki Kare, F, Likelihood Ratio
QUEST	Kategorik, Nümerik	Kategorik	Sınıflandırma	$= 2$	Ki Kare, F, Levene
CART (C&RT)	Kategorik, Nümerik	Kategorik, Nümerik	Sınıflandırma, Regresyon	$= 2$	Gini, Twoing, Least Squared Deviation
C4.5/C5.0	Kategorik, Nümerik	Kategorik	Sınıflandırma	≥ 2	Gain Ratio

(Kaynak: Palmer vd., 2011: 379)

1.1. ID3, C4.5 ve C5.0 Algoritmaları

Quinlan (1986) tarafından geliştirilmiş olan ID3 algoritması Kavram Öğrenme Sistemi (CLS-Concept Learning System) algoritmasına dayanmaktadır (Prabhu ve Venatesan, 2007: 25). ID3 algoritmasının en önemli özelliği basitliğidir. Bölünme ölçütü olarak Bilgi Kazancını (Information Gain) kullanır, tüm örnekler tek hedef özelliğin bir değerine ait olduğunda ya da en iyi Bilgi Kazancı sıfırdan büyük olmadığında ağacın büyümesi durmaktadır. ID3 algoritmasında budama prosedürü bulunmamakla beraber eksik değer ve nümerik veri ile işlem yapmamaktadır. ID3 algoritmasının bazı dezavantajları vardır, bunlar;

- ID3 optimal çözümü garanti etmez, aç gözlü strateji (Greedy Strategy) kullandığı için yerel optimum değerlere sıkışabilirsiniz. Yerel optimumlardan kaçınmak için arama sırasında geri izleme (backtracking) kullanılabilir.
- ID3 eğitim verilerine aşırı uyumlu olabilir. Aşırı uyumluluktan kaçınmak için, büyük ağaçlar yerine küçük ağaçlar tercih edilmelidir. Algoritma genellikle küçük

ağaçlar üretir, fakat her zaman mümkün olan en küçük ağacı üretmeyebilir.

- ID3 kategorik veriler için tasarlanmıştır. Sürekli veriler, kategorik hale getirildikten sonra kullanılabilir.

C4.5, ID3 gibi Quinlan (1993) tarafından geliştirilmiştir ve ID3'ün geliştirilmiş bir türevidir. Bölünme ölçütü olarak Kazanç Oranını kullanmaktadır (Gain Ratio). Bölünmesi gereken örnek sayısı, belirli bir eşik değerinden aşağıda olduğunda bölünme işlemi sona ermektedir. C4.5 algoritmasında ağacın büyüme aşamasından sonra Hata Tabanlı Budama (Error Based Pruning) gerçekleştirilir. C4.5 sayısal verileri işleyebilir. Düzeltilmiş kazanç oranı kriterini kullanarak, eksik değerler içeren bir eğitim setinden indüklenebilir. C4.5 algoritmasında ID3'e göre çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır, bunlar; (Grabczewski, 2014: 18; Rokach ve Maimon, 2015: 77-78)

- C4.5 bir budama prosedürü kullanır.
- C4.5 eksik veriler ile çalışabilir.
- Sürekli öznitelikler ile çalışabilir.
- Düğüm safsızlık ölçümü modifiyesi gerçekleştirebilir.

ID3, gürültü nedeniyle aşırı uyumu önlemek için ki-kare testi kullanırken C4.5, aşırı uyumu önlemek için ki-kare testini kullanmaz, aksine C4.5 ağacın büyümesine olanak sağlar ve daha sonra gereksiz dalları budar (Wong ve Leung, 2002: 10-12).

C4.5 algoritması 1997 yılında değiştirilmiştir, meydana gelen bu yeni algoritma C5.0'dır. C5.0 "Boosting" işlemi adı verilen tahmin doğruluğunun performansını artıran bir prosedürü desteklemektedir. Ayrıca C5.0'a tarih gibi yeni veri tipleri, uygulanamaz değerler ile çalışma, değişken yanlış sınıflandırma maliyetleri kavramı, öznitelikleri ön filtreleme mekanizması gibi özellikler eklenmiştir (Kantardzic, 2011: 188). C5.0 algoritması bellek ve hesaplama süresi açısından C4.5'den çok daha verimlidir. Ayrıca Weka veri madenciliği aracında

J48, C4.5 algoritmasının açık kaynak kodlu bir Java uygulamasıdır (Rokach ve Maimon, 2015: 78).

1.2. CART (C&RT) Algoritması

CART (Classification and Regression Tree), Breiman vd. (1984) (Leo Breiman, Jerome Friedman, Richard Olshen ve Charles Stone (BFOS)) tarafından ikili ağaçların karakterize edilmesi için geliştirilmiştir. Geliştirdikleri bu algoritma makine öğrenmesi, parametrik olmayan istatistik, veri madenciliği ve yapay zekâ gelişiminde önemli bir kilometre taşı temsil etmektedir. CART, bağımlı (hedef) ve bağımsız değişkenlerin kategorik ve sürekli olduğu verileri işleyebilen, ikili-öz yinelenmeli bir algoritmadır. Veri ham hali ile işlenir ve herhangi bir ağırlıklandırma gerekli değildir ve önerilmez. CART’da veri, kök düğümden başlayarak iki alt düğüme ayrılırken her alt düğüm kendi içinde iki alt düğüme ayrılır. Ağaç herhangi bir durdurma kuralı kullanmadan maksimum boyuta ulaşır, veri eksikliğinden dolayı bölünme gerçekleşmez ve ağacın büyüme süreci böylelikle durmuş olur. Maksimum boyutlu ağaç, Maliyet Karmaşıklığı Budama yöntemi ile köke doğru geri biçimde budanır (Steinberg, 2009: 179-181). CART çoklu bölünmelere izin veren ilk sistem olup, yerel optimal noktalardan kaçmak için hiçbir yerleşik mekanizması olmayan deterministik bir algoritmadır (Barros vd., 2015: 25). Bölünme ölçütü olarak Gini İndeksi kullanılır. ID3 ve C4.5 gibi açgözlü arama yaklaşımını benimser ve karar ağaçları yukarıdan aşağıya doğru öz yinelenmeli bölünme şeklinde inşa edilmiştir (Han ve Kamber, 2006: 292: 302). Çok sınıflı problemlerde ise Twoing Bölünme Ölçütünü kullanmaktadır (Kantardzic, 2011: 190). CART’ın önemli bir özelliği Regresyon Ağaçları oluşturmak için kullanılmasıdır. Regresyon Ağaçlarında yapraklar, bir sınıfı değil gerçek bir sayıyı belirtir. Regresyon problemlerinde CART tahmin hata karesini minimize eden bölünmeleri arar (Rokach ve Maimon, 2015: 79). Regresyon ağaçları sınıflandırma ağaçlarına göre biraz daha basittir çünkü CART’da kullanılan büyüme ve budama kriterleri aynıdır (Kantardzic, 2011: 191).

Sadece bir ağaç üretmek için değil, her biri en uygun ağaç olmaya aday iç içe budanmış ağaç dizisi üretmek için tasarlanmış olan

CART mekanizması otomatik sınıf dengeleme, otomatik eksik değer işleme yapabilirken, maliyet duyarlı öğrenme, dinamik özellik inşası ve olasılık ağaç tahminine izin vermektedir (Steinberg, 2009: 181).

CART'ın genel olarak bir değerlendirmesi yapıldığında (Nisbet vd., 2009: 144-145);

- Nonparametrik, veri dağılım özelliklerini gerektirmez.
- Nihai modelleme değişkenleri önceden seçilmez, algoritma tarafından otomatik olarak seçilir.
- Tutarlı olması için verilerin belirli bir matematiksel fonksiyon ile dönüştürülmesine gerek yoktur.
- Çok karmaşık etkileşim kalıpları analiz edilebilir.
- Girdi uzayındaki aykırı (gürültülü) değerlerden etkilenmez.
- Sadece lokal olarak çıkış değişkenindeki aykırı değerlerden etkilenir.
- Kategorik ve sürekli değişkenlerin herhangi bir bileşimini kabul edebilir.
- Kategorik bağımlı bir değişken üzerinde tabakalı örnekleri için ayarlanabilir.
- Eksik değerleri işleyebilir.

1.3. CHAID Algoritması

CHAID (Chi-Square Automatic Interaction Detector), Ki Kare Otomatik Etkileşim Dedektörü için kullanılan bir kısaltmadır. İkili Karar Ağaçları'nın (BDT) bölünmesi için istatistik metodları kullanan uygulamalar son yüzyılın 70'lerinde geliştirilmiştir. AID (Otomatik Etkileşim Detektörü) algoritmasının evrimleşmiş halidir (Donskoy, 2013: 26). CHAID, bölümlendirme amaçlı kullanılan etkili bir istatistiksel tekniktir. Bir istatistiksel testin anlamlılığını kriter olarak kullanarak bir potansiyel ön kestirici değişkenin tüm değerlerini değerlendirir (Oğuzlar, 2004: 81). Başlangıçta sadece nominal verileri işlemek için tasarlanmış olan CHAID algoritması Kass (1980) tarafından geliştirilmiştir (Rokach ve Maimon, 2015: 79). Bir değişkeni birden fazla böldüğü için CART'dan farklıdır. Sınıflandırma problemleri için Ki-kare testini kullanırken Regresyon problemleri için

F-Testini kullanır (Nisbet vd., 2009: 146: 247). CHAID optimaliteyi garanti etmeyen, sezgisel ve ileri aşamalı (forward stepwise) bir yöntemdir. Değişkenlerin hepsi aynı anda değil sırayla ele alınır bu nedenden dolayı tek optimal çözümü garanti etmez (van Diepen ve Franses, 2006: 816-817).

CHAID'in avantajlarını sıralayacak olursak (Nisbet vd., 2009: 147; Nisbet vd., 2018: 144);

- Hızlıdır.
- Geniş karar ağaçları oluşturur, çünkü CART gibi ikili bölünme oluşturma ile sınırlı değildir.
- Pazar araştırmalarında popülerdir.
- Tek dala bağlı çok sayıda terminal düğüm noktaları üretebilir. Bu terminal düğüm noktaları basit bir iki yönlü olasılık tablosu içinde her bir değişken için çoklu kategori kullanarak uygun bir şekilde özetlenebilir.

CHAID'in dezavantajları (Nisbet vd., 2009: 147; Nisbet vd., 2018: 144);

- Değişkeni birden fazla bölme ile alt parçalara ayırdığı için algoritmada güvenilir sonuçlar elde etmek için büyük miktarda veri gereklidir.
- CHAID ağacı gerçek olamayacak kadar kısa ve ilginç olabilir, çünkü çoklu bölünmeyi gerçek iş koşulları ile ilişkilendirmek zordur.
- Gerçek değişkenler analiz öncesi kategorik hale gelmeye zorlanır ancak değerler arasındaki sıralamanın korunması gereken durumlarda kategorize etmeye çalışmak kullanışlı olmayabilir.

1.4. QUEST Algoritması

QUEST (Quick, Unbiased, Efficient Statistical Tree) Hızlı, Tarafsız, Verimli İstatistiksel Ağaç algoritması Loh ve Shih (1997)

tarafından geliştirilmiştir. Tek değişkenli ve doğrusal kombinasyonlu bölünmeleri desteklemektedir (Rokach ve Maimon, 2015: 80). Bölünme için bağımsız değişken ve bağımlı değişken arasındaki ilişki, sıralı ve sürekli değişkenler için homojenlik dağılımı F testi veya Levene testi temelinde, nominal değişkenler için Ki Kare temelinde hesaplanır. Çoklu sınıf hedef değişkenleri için iki süper sınıfın birleştirilmesinde kümeleme analizi kullanılırken, budama için çapraz geçerlilik kullanılmaktadır (Donskoy, 2013: 27). QUEST algoritması önemsiz yanlılığa sahiptir ve ikili karar ağacı üretmektedir.

ID3, C4.5, C5.0, CHAID, CART, QUEST algoritmalarının dışında;

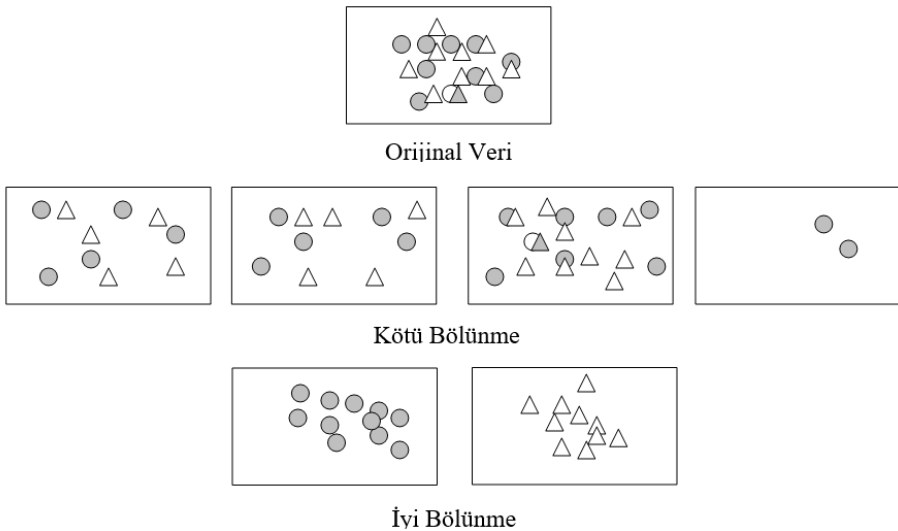
- Muller ve Wysotzki (1994) tarafından gerçekleştirilen, CAL5
- Loh ve Vanichsetakul (1988) tarafından gerçekleştirilen, FACT
- Brodley ve Utgoff (1995) tarafından gerçekleştirilen, LMDT
- Holte (1993) tarafından gerçekleştirilen, T1
- Rastogi ve Shim (2000) tarafından gerçekleştirilen, PUBLIC
- Friedman (1991) tarafından gerçekleştirilen, MARS

algoritmaları literatürde yer almaktadır (Rokach ve Maimon, 2015: 80-81).

2. Karar Ağaçlarında Bölünmeleri Bulma ve Bölünme Kriterleri

Karar ağaçları oluşturulurken ilk önemli aşama bölünme ya da dallanmayı sağlayacak değerin belirlenmesidir. Bu nedenle girdi öznitelikleri içerisinde en iyi bölünmeyi hangi değişkenin sağlayacağına karar vermek ilk önemli adımdır. Bütün girdi öznitelikleri denendikten sonra iki ya da daha fazla alt düğüm oluşturmak için ilk bölünme, en iyi bölünme olarak belirlenir. Hiçbir bölünme olmadığında (kayıtların sayısı az olduğunda) ya da herhangi bir bölünme iyileşmeye yol açmadığında algoritma durur ve bu düğüm bir yaprak düğüm haline dönüşür. Aksi takdirde algoritma bölünmeleri gerçekleştirir ve meydana gelen alt düğümler için bu süreç devam eder.

Yani algoritma kendi kendini tekrarlamaktadır bu yüzden rekürsif olarak da isimlendirilebilmektedir. Uygun bir bölünme kriteri seçimi, girdi özniteliğinin türüne değil hedef özniteliğin türüne bağlıdır. Hedef öznitelik kategorik ise Gini, Bilgi Kazancı, Ki Kare, sürekli ise Varyans Azaltma, F Testi bölünme için uygundur (Berry ve Linoff, 2004: 173). Paralel eksen karar ağaçlarında (tek-değişkenli) ise problem giriş verisini daha iyi ayıran özniteliği seçmektir. Böyle bir öznitelik temelinde bir karar kuralı oluşturulur ve giriş verisi bu kuralın sonuçlarına göre filtre edilir. Oblik karar ağaçları için (çoklu-değişkenli) ise hedef, iyi ayırma gücünde bir öznitelikler kombinasyonunun bulunmasıdır. İki durumda da, iki strateji de sıralı öznitelikler ile nicelik bakımından ilgilenir (Barros vd., 2015: 11).



Şekil 1: İyi ve Kötü Bölünmeler (Kaynak: Berry ve Linoff, 2004: 172)

Düğümelerin her yeni nesli, hedef değişkene göre atalarından daha fazla saflığa sahip olacak şekilde, daha küçük gruplar halinde tekrar tekrar bölünmektedir. Şekil 1, iyi ve kötü bölünmeleri göstermektedir.

En iyi bölünme, kayıt setlerinin saflığını en yüksek derecede artırır. İyi bir bölünme işlemi benzer büyüklüklerde düğümler oluşturur ya da en azından az kayıtlar içeren düğümler oluşturmaz. Bölünme işlemi gerçekleştirilirken birçok bölünme ölçütü çeşitli kategorilere

ayrılmıştır. Berry ve Linoff (2004)'a göre sınıflandırma problemlerinde, hedef değişkenin kategorik ya da nümerik olmasına göre değişen birçok saflık ölçütü vardır (Berry ve Linoff, 2004: 172-178).

Bunlar;

- Kategorik değişkenler için; Gini Kriteri, Bilgi Kazancı, Kazanç Oranı, Ki Kare Testi,
- Nümerik hedef değişkenler için; Varyans Azaltma ve F Testi kullanılan ölçütlerdir.

Rokach ve Maimon (2015) bölünme kriterlerini, değişkenin tek ve çok olmasına göre ayırmıştır. Karar ağacı indükleyicilerinin çoğunda ayrık bölünme fonksiyonları tek değişkenlidir. Tek değişkenli denmesinin anlamı, bir iç düğümün tek bir öznitelik değerine göre bölünmüş olmasıdır. Algoritma bölünme işlemini gerçekleştirmek için en iyi özniteliği arar. Birçok tek değişkenli bölünme kriteri vardır ve bunlar farklı şekilde karakterize edilebilirler. Örneğin:

- Ölçmenin kökenine göre olan tek değişkenli bölünme kriterleri: bilgi kuramı, bağımlılık ve uzaklık,
- Ölçmenin yapısına göre olan tek değişkenli bölünme kriterleri: safsızlık (impurity) tabanlı kriterler, normalleştirilmiş safsızlık tabanlı kriterler ve ikili kriterler

gibi kriterler yaygın olarak kullanılmaktadır (Rokach ve Maimon, 2015: 61).

Barros vd. (2015) ise tek değişkenli bölünme ölçütlerini aşağıdaki gibi kategorilere ayırmışlardır;

- Bilgi temelli kriterler;
- Uzaklık temelli kriterler;
- Diğer sınıflandırmalar kriterleri;
- Regresyon kriterleri.

Bu kategorilerin hatları bazen belirsizdir ve ne şekilde olursa olsun bir taksonomi oluşturmazlar. Verilen bir kategoride sunulan çoğu

kriterler başka kategorilerdeki kriterlerin tahminleri olarak gösterilebilir (Barros vd., 2015: 11).

Çok değişkenli bölünme kriterlerinde, birçok öznelik tek düğüm ayırma testine katılabilir. En iyi çok değişkenli kriterleri bulma, en iyi tek değişkenli kriterleri bulmaya göre daha çok karmaşıktır. Dahası bu tip kriterler ağacın performansını bariz bir şekilde artırabilmesine karşın tek değişkenli kriterlere göre daha az popülerdir. Çok değişkenli bölünme ölçütlerinin büyük bir kısmı, girdi özneliklerin doğrusal (lineer) bileşimlerine dayanmaktadır. En iyi doğrusal kombinasyonu bulma işlemi Aç Gözlü Arama (greedy search), lineer programlama, lineer diskriminant analizi gibi yöntemler kullanarak yapılabilir (Rokach ve Maimon, 2010: 157).

Gerçekleştirilen bu çalışmanın, Karar Ağaçların bölünme kriterleri kısmında Rokach ve Maimon (2015) tarafından belirtilen, ölçmenin yapısına göre olan bölünme kriterleri temel alınarak gerçekleştirilmiştir.

2.1. Safsızlık Tabanlı Kriterler

“k” ayrık (kesikli) değerlere sahip rasgele verilen “x” değişkeni, $P = (p_1, p_2, \dots, p_k)$ şeklinde dağıtılmış olsun, safsızlık ölçütü fonksiyonu $\phi: [0, 1]^k \rightarrow \mathbb{R}$, aşağıdaki koşulları sağlar;

- $\phi(P) \geq 0$
- En az bir i için $p_i=1$ ise $\phi(P)$ minimumdur. (Eğer $\exists i, p_i=1$ ise $\phi(P)$ minimumdur.)
- Eğer $\forall i$ için, $1 \leq i \leq k, p_i = 1/k$ ise $\phi(P)$ maksimumdur.
- $\phi(P)$, P 'nin bileşenlerine göre simetriktir.
- $\phi(P)$ kendi aralığında düzgündür ve her yerde diferansiyellenebilir.

Eğer olasılık vektörü 1 'in (x değişkeni yalnızca bir değer alır) bir bileşenine sahipse o zaman değişken saf olarak adlandırılır. Diğer bir yandan eğer tüm bileşenleri eşitse, safsızlık düzeyi (seviyesi) maksimuma ulaşır. “S” verilmiş bir eğitim kümesi olmak üzere hedef özneliğin olasılık vektörü “y” şu şekilde tanımlanır;

$$P_y(S) = \left(\frac{|\sigma_{y=c_1}S|}{|S|}, \dots, \frac{|\sigma_{y=c_{|dom(y)|}}S|}{|S|} \right)$$

Kesikli öznitelik a_i kaynaklı bölünmenin iyiliği, “ $v_{i,j} \in \text{dom}(a_i)$ ” değerlerine göre S 'in bölümlere ayrılmasından sonra hedef özniteliğin safsızlığının azalması olarak tanımlanır.

$$\Delta\Phi(a_i, S) = \phi(P_y(S)) - \sum_{j=1}^{|\text{dom}(a_i)|} \frac{|\sigma_{a_i=v_{i,j}}S|}{|S|} \cdot \phi(P_y(\sigma_{a_i=v_{i,j}}S))$$

(Barros vd., 2015: 13; Fayyad ve Irani; 1992: 105; Rokach ve Maimon, 2015: 62)

2.1.1. Bilgi Kazancı

Quinlan (1986)'ın ilk karar ağacı algoritması olan ID3, veri setinin bölünmesi için Bilgi Kazancını kullanır (Lee vd., 2015: 93). Maksimum Olabilirlik Yöntemi ile yakından ilişkili olan Bilgi Kazancı safsızlık tabanlı bir kriterdir ve;

$$\begin{aligned} \text{InformationGain}(a_i, S) &= \text{Entropy}(y, S) \\ &- \sum_{v_{i,j} \in \text{dom}(a_i)} \frac{|\sigma_{a_i=v_{i,j}}S|}{|S|} \cdot \text{Entropy}(y, \sigma_{a_i=v_{i,j}}S) \end{aligned}$$

$$\text{Entropy}(y, S) = \sum_{c_j \in \text{dom}(y)} - \frac{|\sigma_{y=c_j}S|}{|S|} \cdot \log_2 \frac{|\sigma_{y=c_j}S|}{|S|}$$

şeklinde ifade edilir (Rokach ve Maimon, 2015: 62).

2.1.2 Gini İndeksi

İtalyan ekonomist ve istatistikçi Corrado Gini (1912)'den adını alan Gini indeksi, popüler bir bölünme ölçütüdür. Biyolog ve çevre bilimciler tarafından kullanılan bu kriter, aynı popülasyondan rastgele

seçilen iki türün aynı sınıfta olma olasılığını vermektedir (Berry ve Linoff, 2004: 178). Gini indeksi, hedef özniteliklerin değerlerinin olasılık dağılımları arasındaki farklılıkları ölçen safsızlık tabanlı bir kriterdir. Gini indeksi Breiman vd. (1984) ve Gelfand vd. (1991) tarafından kullanılmıştır (Rokach ve Maimon, 2015: 62-63).

$$Gini(y, S) = 1 - \sum_{c_j \in dom(y)} \left(\frac{|\sigma_{y=c_j} S|}{|S|} \right)^2$$

a_i özneliğini seçmek için değerlendirme kriteri aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$GiniGain(a_i, S) = Gini(y, S) - \sum_{v_{i,j} \in dom(a_i)} \frac{|\sigma_{a_i=v_{i,j}} S|}{|S|} \cdot Gini(y, \sigma_{a_i=v_{i,j}} S)$$

Gürültülü (aykırı) veriler için iyi çalışan Gini İndeksi, CART tarafından bölünme kriteri olarak kullanılmaktadır (Lee vd., 2015: 94; Timofeev, 2004: 10). CART yazarlarının Bilgi Kazancı yerine Gini İndeksini tercih etmelerinin nedeni, Gini İndeksi'nin simetrikleştirilmiş maliyetleri içerecek şekilde genişletilebilir olması ve Bilgi Kazancı'ndan daha hızlı hesaplanmasıdır şeklinde ifade etmiştir (Kantardzic, 2011: 189).

2.1.3. Olabilirlik Oranı (Likelihood Ratio)

Olabilirlik oranı;

$$G^2(a_i, S) = 2 \cdot \ln 2 \cdot |S| \cdot InformationGain(a_i, S)$$

şeklinde tanımlanır. Bu oran, Bilgi Kazancı kriterinin istatistiksel öneminin ölçülmesi için yararlıdır. Sıfır hipotezinde (H_0) girdi ve hedef öznitelikleri koşullu (şartlı) olarak bağımsızdır. Eğer H_0 hipotezi kabul edilirse, test istatistiği $(dom(a_i) - 1) \cdot (dom(y) - 1)$ serbestlik

derecesi ile χ^2 olacak şekilde dağıtılmaktadır (Rokach ve Maimon, 2015: 63).

2.1.4. DKM Kriteri

Sınıf özniteliğinin ikili olduğu durumlar için dizayn edilmiş olan DKM bölünme kriteri adını Dietterich, Kearns, ve Mansour'dan alır (Lee vd., 2015: 95). DKM kriteri safsızlık tabanlı (impurity based) bir bölünme kriteridir. Safsızlık tabanlı fonksiyon şu şekilde tanımlanır;

$$DKM(y, S) = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{|\sigma_{y=c_1} S|}{|S|}\right) \cdot \left(\frac{|\sigma_{y=c_2} S|}{|S|}\right)}$$

DKM kriteri diğer safsızlık tabanlı kriterlere (Bilgi Kazancı ve Gini İndeksi) göre, belirli bir hata elde etmek için daha küçük ağaç gerektirdiği teorik olarak ispatlanmıştır (Rokach ve Maimon, 2015: 63). Böylelikle DKM ölçütünün, Entropi ve Gini İndeksine göre daha çok tercih edilebilir olduğu gösterilmiştir (Donskoy, 2013: 17). Yazarlar, tahmin doğruluğunun belirli bir seviyesi için DKM tabanlı ağacın beklenen boyutunun, C4.5 ya Gini kullanılarak oluşturulan ağaçlardan daha küçük olduğunu kanıtlamıştır (Lee vd., 2015: 95). Çeşitli yazarlar karar ağacı bölünme kriteri olarak uygulanan DKM'nin dengeli olmayan (imbalanced) veri setleri üzerinde gelişmiş performans gösterdiğini bildirmişlerdir (Cieslak ve Chawla, 2008: 241-242).

2.2. Normalize Edilmiş Safsızlık Tabanlı Kriterler

Safsızlık tabanlı kriterler, geniş alan değerlere sahip özniteliklere karşı yanlıdır. Açıkçası bu kriter çok değere sahip girdi özniteliklerini, az değere sahip girdi özniteliklerine tercih etmektedir. Örneğin, ulusal güvenlik numarasını gösteren bir girdi özniteliği büyük olasılıkla en yüksek bilgi kazancını elde edecektir. Ancak, bu özniteliği karar ağacına eklemek zayıf (poor) genelleştirilmiş doğruluğa neden olacaktır. Bu nedenle safsızlık tabanlı ölçütleri normalleştirmek yararlıdır (Rokach ve Maimon, 2015: 63-64).

2.2.1. Kazanç Oranı

Quinlan (1993) yeni bir ölçü oluşturmak için Bilgi Kazancı'nı normalize etmiştir, bu yeni ölçüt Kazanç Oranı (Gain Ratio) olarak bilinmektedir. Kazanç Oranı, Quinlan (1993)'ın C4.5 karar ağacında kullanılmaktadır (Lee vd., 2015: 94). Kazanç Oranı, Bilgi Kazancı'nı aşağıdaki gibi normalleştirir.

$$GainRatio|(a_i, S) = \frac{InformationGain(a_i, S)}{Entropy(a_i, S)}$$

Payda sıfır olduğunda tanımsız olan bu oran, payda çok küçük olduğunda öznitelikler lehine eğilim gösterebilir. Dolayısıyla, bu oranın iki aşama da gerçekleştirilebilir olduğu önerilir. İlk olarak, bütün öznitelikler için Bilgi Kazancı hesaplanır. Yalnızca en az ortalama Bilgi Kazancı kadar performans gösteren öznitelikler dikkate alınır ve en iyi kazanç oranını elde eden öznitelik seçilir. Quinlan (1988), hem doğruluk açısından hem de sınıflandırıcı karmaşıklığı açısından Kazanç Oranı'nın, basit Bilgi Kazancı ölçütüne göre daha iyi performans eğilimi gösterdiğini göstermiştir (Rokach ve Maimon, 2015: 64).

2.2.2. Uzaklık Ölçütü

López de Mántaras (1991), normalize bilgi mesafesinin bir bölünme kriteri olarak kullanılmasını önermiştir. Bu fonksiyon bir uzaklık metriğidir. Negatif olmama, simetrik olma ve üçgen eşitsizliği gibi özellikleri sağlamaktadır, ayrıca bu fonksiyon [0,1] aralığı arasında normalize edilir (Lee vd., 2015: 95).

$$\frac{\Delta\Phi(a_i, S)}{-\sum_{v_{i,j} \in dom(a_i)} \sum_{c_{k,j} \in dom(y)} \frac{|\sigma_{a_i=v_{i,j} \vee y=c_k} S|}{|S|} \cdot \log_2 \frac{|\sigma_{a_i=v_{i,j} \vee y=c_k} S|}{|S|}}$$

Uzaklık Ölçütü, Kazanç Oranı'nda olduğu gibi safsızlık ölçütünü normalleştirir, fakat bunu farklı bir şekilde gerçekleştirir (Rokach ve Maimon, 2015: 64).

2.2.3. AUC Bölünme Kriteri

AUC metrik değerinin bir bölünme kriteri olarak kullanılabilceği Ferri vd. (2002) tarafından belirtilmiştir. ROC (Receiver Operator Characteristic) eğrisinin dışbükey gövdesinin altında maksimum alanı elde eden öznitelik, bölünme kriteri olarak seçilir. AUC tabanlı bölme kriterinin, ROC eğrisi altında kalan alan ve sınıflandırma doğruluğu açısından diğer bölme kriterlerine göre daha iyi bir performans sergilediği gösterilmiştir. Safsızlık kriterlerinin aksine bu kriter, bölünmeden sonra çocuk düğümlerin ağırlıklı safsızlığı ile ebeveyn düğümün safsızlığı arasında bir karşılaştırma yapmaz (Ferri vd., 2002: 142-143; Rokach ve Maimon, 2015: 66).

2.3. İkili Kriterler

İkili kriterler, ikili ağaçları oluştururken kullanılır. Bu ölçütler, girdi öznitelik alanının iki alt alana bölünmesine dayalıdır. “ $\beta(a_i, \text{dom}_1(a_i), \text{dom}_2(a_i), S)$ ”, S örneği üzerinde a_i özneliği için ikili ölçüt olarak tanımlansın, burada “ $\text{dom}_1(a_i)$ ” ve “ $\text{dom}_2(a_i)$ ” a_i 'nin iki alt alanıdır. Öznitelik alanını, birbirini dışlayan ve ayrıntılı iki alt alana optimal bölünmesi için elde edilen değer, özniteliklerin karşılaştırılması için kullanılır (Rokach ve Maimon, 2015: 64-65).

$$\beta^*(a_i, S) = \max_{\forall \text{dom}_1(a_i); \text{dom}_2(a_i)} \beta(a_i, \text{dom}_1(a_i), \text{dom}_2(a_i), S)$$

2.3.1. Twoing Kriteri

Twoing bölünme kriteri, Gini İndeksine bir alternatif olarak Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçlarında (CART) tanımlanmıştır ve çok sınıflı problemlerde kullanılır. Her düğümden sınıflar, ayrık ve karşılıklı ayrıntılı sınıflar içeren iki süper sınıfa ayrılır (Kantardzic, 2011: 190). Hedef özneliğin alanı nispeten geniş olduğunda Gini İndeksi sorunlar ile karşılaşabilir. Bu gibi durumlarda, Twoing kriteri olarak adlandırılan ikili kriterler kullanmak da mümkündür. Bu kriter aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\begin{aligned}
& \text{Twoing}\beta(a_i, \text{dom}_1(a_i), \text{dom}_2(a_i), S) \\
&= 0,25 \cdot \frac{|\sigma_{a_i \in \text{dom}_1(a_i)} S|}{|S|} \cdot \frac{|\sigma_{a_i \in \text{dom}_2(a_i)} S|}{|S|} \cdot \left(\sum_{c_i \in \text{dom}(y)} \left| \frac{|\sigma_{a_i \in \text{dom}_1(a_i) \text{ ve } y=c_i} S|}{|\sigma_{a_i \in \text{dom}_1(a_i)} S|} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{|\sigma_{a_i \in \text{dom}_2(a_i) \text{ ve } y=c_i} S|}{|\sigma_{a_i \in \text{dom}_2(a_i)} S|} \right| \right)^2
\end{aligned}$$

Hedef özniteliği ikili olduğunda, Gini İndeksi ve Twoing Kriteri eşdeğerdir. Çok sınıflı problemler için Twoing Kriteri, eşit, dengeli şekilde bölünmüş bölümlere sahip öznitelikleri tercih etmektedir (Rokach ve Maimon, 2015: 65). Twoing Kriteri bize daha dengeli ağaçları oluşturmak için izin verse de, bu algoritma Gini İndeksine göre daha yavaş çalışır (Kantardzic, 2011: 190).

2.3.2. Ortogonal Kriteri

Fayyad ve Irani (1992) tarafından sunulan bu ikili bölünme kriterinde, bölünme kriteri olarak ikili bölünmelerden gelen sınıf olasılığı vektörleri arasındaki açının kosinüsünü kullanılmıştır (Lee vd., 2015: 95). Ortogonal Bölünme Kriteri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$ORT(a_i, \text{dom}_1(a_i), \text{dom}_2(a_i), S) = 1 - \cos\theta(P_{y,1}, P_{y,2})$$

Burada $\theta(P_{y,1}, P_{y,2})$, $P_{y,1}$ ve $P_{y,2}$ vektörleri arasındaki açıdır. Bu vektörler sırasıyla, $\sigma_{a_i \in \text{dom}_1(a_i)} S$ ve $\sigma_{a_i \in \text{dom}_2(a_i)} S$ bölümlerindeki hedef özniteliğin olasılık dağılımlarını temsil etmektedir. Ortogonal Kriterin, belirli problem kümeleri için Gini İndeksi ve Bilgi Kazancı kriterlerine göre daha iyi performans sergilediği gösterilmiştir (Fayyad ve Irani, 1992: 108; Rokach ve Maimon, 2015: 65). Bu ölçüt $[0,1]$ aralığında değer alırken maksimum değerini ise vektörler ortogonal olduğunda alacaktır, başka bir ifade ile bu vektörlerin dik olması demektir. Vektörler ortogonal olduğunda aralarındaki açı 90 derece olacaktır, $\cos(90^\circ)=0$ olduğundan maksimum değer olan “1”e ulaşacaktır. Minimum değer ise “0”dır, bu da vektörler arasındaki

açının “0” olmasıdır ($\text{Cos}(0^\circ)=1$). Bu durumda ise vektörler birbirine paraleldir (Fayyad ve Irani, 1992: 108).

2.3.3. Kolmogorov-Smirnov Kriteri:

Friedman (1977) ve Rounds (1980) ikili sınıf problemlerini incelemek için Kolmogorov-Smirnov uzaklığına dayalı ikili bir ölçütü sunmuşlardır (Barros vd., 2015: 16). İkili hedef öznitelikli $\text{dom}(y) = \{c_1, c_2\}$ olarak varsayarsak, bu kriter aşağıdaki şekilde tanımlanabilir;

$$KS(a_i, \text{dom}_1(a_i), \text{dom}_2(a_i), S) = \left| \frac{|\sigma_{a_i \in \text{dom}_1(a_i) \text{ ve } y=c_1} S|}{|\sigma_{y=c_1} S|} - \frac{|\sigma_{a_i \in \text{dom}_2(a_i) \text{ ve } y=c_2} S|}{|\sigma_{y=c_2} S|} \right|$$

Kolmogorov-Smirnov Kriteri, çoklu sınıf ve eksik veri değerlerine sahip hedef öznitelikler ile başa çıkmak için Utgoff ve Clouse (1996) tarafından genişletilmiştir (Rokach ve Maimon, 2015: 66).

3. Durdurma Kriterleri

Karar Ağacı indükleyicilerinde her bölünme ile yeni düğümler üretir ve bu yeni düğümler özyinelemeli olarak yeni bölünme noktalarını gösterir. Düğüm, sınıf saflığına ulaştığında veya düğüm sadece tek bir öge içerdiğinde bölünme algoritması duracaktır (Lee vd., 2015: 100). Ayrıca bir ağacın büyüme aşaması, durdurma kriteri tetiklenene kadar sürer (Barros vd., 2015: 29).

Aşağıda belirtilen maddeler literatürde kullanılan durdurma kriterleridir (Lee vd., 2015: 100; Barros vd., 2015: 29; Rokach ve Maimon, 2015: 69).

1. Eğitim kümesindeki tüm örnekler tek bir “y” değerine aittir. Yani sınıf homojenliğine ulaşmakta denebilir. Tüm örnekler aynı sınıfa ait olduğunda bu homojenliğe ulaşılmış olur, böylece bu düğümün yeniden bölünmesine gerek yoktur.

2. Öznitelik homojenliğine ulaşma; belirli bir düğüme ulaşan tüm örnekler aynı öznitelik değerlerine sahip olduğunda (aynı sınıf değeri gerekli olmasa da) bölünme durur.
3. Bir parametre, veri parçalanma problemini önlemek için “terminal olmayan bir düğüm için örneklerin minimum sayısını” belirtebilir.
4. Maksimum ağaç derinliğine ulaştığında bölünme durur.
5. Terminal düğümdeki durumların sayısı, ebeveyn düğümlerdeki minimum durumların sayısından daha az olduğunda bölünme durur.
6. Eğer düğüm bölünürse, bir veya daha fazla alt düğümdeki durumların sayısı çocuk düğümler için minimum durumların sayısından daha az olacaktır.
7. En iyi bölme kriteri, belli bir eşik değerden çok büyük değildir.
8. Bir parametre zayıf bölünmeleri önlemek için “bölünme kriteri eşiği” olarak belirlenebilir.
9. Veri seti boyutu minimuma ulaştığında bölünme durur.
10. Düğüm sayısı maksimuma ulaştığında bölünme durur.

4. Karar Ağaçlarının Budanması

Bir veya daha fazla alt ağacın atılması (çıkarılması) ve alt ağacın yapraklarla değiştirilmesi karar ağacını sadeleştirir ve bu karar ağaçlarının budanmasında temel görevdir (Kantardzic, 2011: 184). Bir karar ağacı oluşturulduktan sonra eğitim verisi içerisindeki gürültüden veya aykırı değerlerden dolayı bazı dallar anomaliler yansıtır. Ağaç budama yöntemleri (pruning methods) aşırı uyum (overfitting) problemini çözmek için kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler en az güvenilir dalları çıkarmak için genellikle istatistiksel yöntemler kullanır (Han ve Kamber, 2006: 304). Genellikle budama yöntemlerinde herhangi bir düğüm için, elde edilen alt karar ağacının yerine bir son düğüm yerleştirilir. Bu işlem, kestirim hata yüzdesi belirli bir tolerans altında ve alt karar ağacı için son düğümden yüksek olduğu durumda

yapılır (Irmak, 2009: 40). Yaprak ile alt ağacı değiştirme işleminde kullanılan algoritmanın, tahmin hata oranını düşürmesi ve sınıflandırma modelinin kalitesini artırması beklenir (Kantardzic, 2011: 184).

Sıkı durdurma kriterlerinin uygulanması, küçük ve yetersiz uyumlu (underfitted) karar ağaçları oluşturmaya neden olurken, gevşek durdurma kriterlerinin uygulanması ise eğitim kümesine aşırı uyumlu büyük ve geniş karar ağaçları oluşturmaya neden olur. Bu sorunu çözmek için Breiman vd. (1984) bir budama yöntemi geliştirmişlerdir. Gevşek bir durdurma kriteri ile karar ağacının eğitim kümesine aşırı uyumluluğu sağlanır, sonra aşırı uyumlu olan bu ağacın genelleme doğruluğuna katkısı olmayan alt dalları kaldırılarak küçük bir ağaç olacak şekilde budanır. Budama metotlarının uygulanması, karar ağacının genelleme performansını arttırdığı çeşitli çalışmalarda (özellikle gürültülü alanlarda) gösterilmiştir (Rokach ve Maimon, 2015: 69). Budanmış ağaçlar küçük ve daha az karmaşık olma eğilimi gösterirler bu sebeple anlaşılması daha kolaydır (Han ve Kamber, 2006: 304).

Karar ağaçlarında budama işleminin nasıl çalıştığına dair iki farklı yaklaşım vardır bunlar; prepruning (forward pruning) ve postpruning (backward pruning)'dir (Bramer, 2007: 125). Karar ağaçlarının budanması için literatürde geliştirilmiş birçok budama metodu bulunmaktadır. Bunlar;

- Azaltılmış Hata Budaması (REP, Reduced Error Pruning)
- Maliyet-Karmaşıklık Budama (CCP, Cost Complexity Pruning)
- Minimum Hata Budaması (MEP, Minimum Error Pruning)
- Kötümser Budama (PEP, Pessimistic Pruning)
- Hata Tabanlı Budama (EBP, Error Based Pruning)
- Optimal Budama (OP, Optimal Pruning)
- Minimum Tanım Uzunluğu Budama (MDL, Minimum Description Length Pruning)
- Minimum Mesaj Uzunluğu (MML, Minimum Message Length)

- Kritik Değer Budaması (CVP, Critical Value Pruning)
- Derinlik Safsızlık Budama (DIP, Depth Impurity Pruning)
- Doğrulama Tabanlı Budama (VBP, Validation Based Pruning)

olarak sayılabilir (Barros vd., 2015: 30-35; Grąbczewski, 2014: 62-63; Lee vd., 2015: 97-99; Rokach ve Maimon, 2015: 70-74).

Çeşitli çalışmalarda farklı budama tekniklerinin performansları kıyaslanmıştır. Sonuçlar, Maliyet Karmaşıklığı Budaması, Azaltılmış Hata Budaması gibi bazı metotların aşırı budama eğiliminde olduğunu göstermiştir, başka bir ifade ile daha küçük ancak daha az doğru (daha az hassas) karar ağacı oluştururlar. Hata Tabanlı Budama, Kötümser Hata Budama ve Minimum Hata Budama gibi diğer metotlar ise daha az budamaya yanlıdır. Karşılaştırmaların çoğunda, hiç bir budama metodunun diğer kalan budama metotlarına göre daha iyi ve üstün bir performans göstermediği anlaşılmıştır (Rokach ve Maimon, 2015: 73).

4.1. Azaltılmış Hata Budaması

Azaltılmış Hata Budaması (REP) metodu karar ağaçlarının budanması için basit bir strateji olarak Quinlan (1987) tarafından öne sürülmüştür (Barros vd., 2015: 30). Azaltılmış budama yöntemi, ağacın büyümesi ve budanması için aynı iyilik kriterlerini (goodness criteria) kullanırken iki safha için farklı veri örneklerini kullanılır. Başlangıç ağacı induksiyon öncesi eğitim veri kümesi, büyüme veri kümesi ve budama veri kümesi olmak üzere ayrılmıştır. Başlangıç ağacının induksiyonu büyüme veri kümesini kullanarak yapılır (Lee vd., 2015: 98). Azaltılmış Hata Budamanın, T'den verilen bir alt ağacın iyiliğini (goodness) değerlendirmek için budama setini kullanmasındaki amaç, budama setindeki sınıflandırma hatası dikkate alınarak her terminal olmayan "t" düğümünü değerlendirmektir. Alt ağaç T(t) ile yaprak düğümü değiştirdiğimizde eğer hata azalır o zaman T(t) mutlaka budanmalıdır. Quinlan (1987) bir koşul öne sürer: Bir düğüm "t" eğer budama setinde daha alt sınıflandırma hatasına uyum sağlayan ağaç içeriyorsa budama yapılmaz. Bu koşulun uygulanabilir sonucu şudur ki, REP aşağıdan yukarı tasarımda çalıştırılmalıdır. REP budanmış T'

ağacı ilginç ve elverişli bir özellik sunar. Orijinal T ağacının budamasından sonuçlanan ağaç, en küçük ve doğru ağaçtır. Bu elverişli özelliğin yanı sıra REP'in diğer bir avantajı doğrusal karmaşıklığıdır. Böylece her bir düğüm, T de sadece bir kere ziyaret edilir. Özellikle küçük veri setleri için kısmen ciddi olan bir dezavantaj budama seti kullanma ihtiyacıdır (Barros vd., 2015: 30-31). Bu yöntemin sayılabilecek diğer dezavantajından birisi büyük miktarda eğitim verisine ihtiyaç duymasıdır. Bir diğeri ise büyüme ve budama için aynı kriterleri kullanarak yetersiz budama eğilimi göstermesidir (Lee vd., 2015: 98).

4.2. Maliyet Karmaşıklık Budama

Maliyet Karmaşıklık Budaması çok adımlı bir budama stratejisi olup, tek düğüm ile alt ağaçların değiştirilmesini hedeflemektedir (Lee vd., 2015: 97). Aynı zamanda en zayıf bağlantı budama veya hata karmaşıklığı budaması olarak bilinir (Rokach ve Maimon, 2015: 70). Maliyet Karmaşıklık Budama, CART sisteminin postpruning stratejisidir ve iki adımdan oluşur (Barros vd., 2015: 33). İlk aşamada $T_0, T_1, T_2, \dots, T_k$ ağaç dizisi, eğitim verisi üzerinde oluşturulur, burada T_0 budama öncesindeki orijinal ağaç, T_k ise kök ağaçtır. İkinci aşamada, ağaçlardan bir tanesi genelleme hatasının tahminine dayalı olarak budanmış ağaç olarak seçilir. T_{i+1} ağacı, uygun yapraklı T_i öncel ağacındaki bir ya da daha fazla alt ağaçların değiştirilmesi ile elde edilir. Budanmış alt ağaçlar, her bir budanmış yaprak düğüm için en düşük hata artış oranını elde edenlerdir:

$$\alpha = \frac{\varepsilon(\text{pruned}(T, t), S) - \varepsilon(T, S)}{|\text{leaves}(T)| - |\text{leaves}(\text{pruned}(T, t))|}$$

S örneği üzerindeki T ağacının hata oranı: $\varepsilon(T, S)$

T'deki yaprakların sayısı: $|\text{leaves}(T)|$

T'deki uygun bir yaprak ile t düğümünün yer değiştirilmesi ile elde edilen ağaç: $\text{pruned}(T, t)$

İkinci aşamada budanmış ağaçların genelleme hataları tahmin edilir. Daha sonra en iyi budanmış ağaç seçilir. Eğer veri seti yeterince büyükse, veri setini eğitim seti ve budama seti olacak şekilde bölünmesi önerilir. Ağaçlar, eğitim seti kullanılarak inşa edilir ve budama setinde değerlendirilir. Veri kümesi yeterince büyük değilse, hesaplama karmaşıklığı etkilerine rağmen, çapraz doğrulama yönteminin kullanılması önerilir (Rokach ve Maimon, 2015: 70). Maliyet Karmaşıklık Budama hem ağacın karmaşıklığını hem de hataların sayısını hesaba katar. Ağacın büyüklüğü ağacın karmaşıklığını temsil etmek için kullanılır (Cai, 2006: 14-15).

4.3. Minimum Hata Budaması

Minimum Hata Budaması, Niblett ve Bratko (1987) tarafından önerilmiştir. Bağımsız bir veri kümesi üzerinde beklenen hata oranını en aza indiren bir ağaç arayan, aşağıdan yukarıya doğru bir yaklaşımdır (Cai, 2006: 16). Safsızlık kriteri kullanan Minimum Hata Budama (Minimum Error Pruning-MEP), ağacın büyüme aşaması gibi çalışmaktadır fakat bölünme yerine birleştirme kullanır. Bir yaprak düğümün ebeveyn ögesinden başlayarak, onun çocuklarının hata oranlarının ağırlıklı toplamı boyutu ile beklenen hata oranını karşılaştırır. Ebeveyn düğümde beklenen hata oranı düşük ise alt ağacı yaprak haline dönüştürülür. Bu işlem tüm yaprakların ebeveyn düğümlerine ulaşıncaya kadar tekrarlanır, sonunda ağaç optimize edilmiş olur (Lee vd., 2015: 98). Mingers (1989) bu yöntemin çeşitli dezavantajları olduğuna işaret etmiştir. Birincisi tüm sınıflar olasılıkla eşittir, bu pratikte nadiren doğrudur. İkincisi, bu yöntem sadece tek ağaç üretir. Üçüncü olarak, sınıf sayısı kuvvetli bir şekilde budama derecesini etkiler, bu da kararsız sonuçlara yol açar (Cai, 2006: 17).

4.4. Kötümser Hata Budama

Kötümser Hata Budama (Pessimistic Error Pruning-PEP) Quinlan (1987) tarafından önerilmiştir, eğitim kümesi hem ağacın oluşturulmasında hem de budanmasında kullanılır (Barros vd., 2015: 31). Bu nedenle PEP yöntemi ikinci bir veri seti gerektirmez (Lee vd., 2015: 98). PEP, budama seti veya çapraz doğrulama gereksinimi yerine

kötümser istatistik korelasyon testi kullanır (Rokach ve Maimon, 2015: 71). Belirgin hata oranı yani eğitim setindeki hata oranı, iyimser yanlı ve en iyi budanmış ağacı seçmek için kullanılamaz. Bu nedenle Quinlan (1987) daha gerçekçi olan binom dağılımı için süreklilik düzeltmesini tanıtmıştır (Esposito vd., 1997: 478).

$$\varepsilon'(T, S) = \varepsilon(T, S) + \frac{|leaves(T)|}{2 \cdot |S|}$$

Ancak bu düzeltme hala iyimser bir hata oranı üretmektedir. Sonuç olarak Quinlan (1993) bir iç düğüm t 'nin hata oranı referans ağaca göre bir standart hata içerisinde ise bu iç düğüm t 'nin budanmasını önermektedir,

$$\varepsilon'(pruned(T, t), S) \leq \varepsilon'(T, S) + \sqrt{\frac{\varepsilon'(T, S) \cdot (1 - \varepsilon'(T, S))}{|S|}}$$

Son durum, oranlar için istatistiksel güven aralığına dayanmaktadır. Genellikle son durum kullanılır. T alt ağacı temsil eder, t ise T 'nin bir iç düğüm olan köküdür. S ise, t düğümüne atıfta bulunan eğitim setinin bölümünü gösterir. Eğer bir iç düğüm budanmış ise soyundan gelen düğümler budama işleminden çıkarılır böylece nispeten hızlı bir budama ile sonuçlanır (Rokach ve Maimon, 2015: 71-72). Kötümser Budama süreci yukarıdan aşağıya doğru çalışan bir yöntemdir ve yüksek hızlı çalışmaktadır (Esposito vd., 1997: 479). Bu yöntem, Azaltılmış Hata Budama (REP) yöntemine göre çok daha hızlı çalışmaktadır ve aynı zamanda daha yüksek doğruluk sağlamaktadır (Cai, 2006: 14).

4.5. Hata Tabanlı Budama

Quinlan (1993) tarafından geliştirilen (Barros vd., 2015: 34) Hata Tabanlı Budama (Error Based Pruning-EBP) beklenen hata oranının çok daha kötümser tahminine dayalı olduğu için Kötümser Budamanın (PEP) iyileştirilmiş halidir ve C4.5 algoritmasına uygulanmıştır

(Esposito vd., 1999: 292). Kötümser Budamada olduğu gibi hata oranı, oranlar için istatistik güven aralığının üst sınırı kullanılarak tahmin edilir.

$$\varepsilon_{UB}(T, S) = \varepsilon(T, S) + Z_{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon(T, S) \cdot (1 - \varepsilon(T, S))}{|S|}}$$

Burada;

S eğitime kümesi üzerinde, T ağacının yanlış sınıflandırma oranı: $\varepsilon(T, S)$

Standart normal birikimli dağılımın tersi: Z, istenilen anlamlılık düzeyi: α

“t” düğümü tarafından kökleşmiş alt ağaç: $subtree(T, t)$

“t”nin en sık görülen çocuk düğümü: $maxchild(T, t)$, (yani S’deki örneklerin çoğu bu belli çocuk düğüme ulaşır.)

“t” düğümüne ulaşan S’deki tüm örnekler: S_t ’dir.

Prosedür, tüm düğümler üzerinde aşağıdan yukarıya doğru sırayla ziyareti gerçekleştirir ve aşağıdaki değerleri karşılaştırır;

1. $\varepsilon_{UB}(subtree(T, t, S_t))$
2. $\varepsilon_{UB}(pruned(subtree(T, t), t), S_t)$
3. $\varepsilon_{UB}(subtree(T, maxchild(T, t)), S_{maxchild(T, t)})$

En küçük değere göre bu yöntem ya ağacı olduğu gibi bırakır ya “t” düğümünü budar, ya da $maxchild(T, t)$ tarafından köklü alt ağaç ile “t” düğümünü yer değiştirir (Rokach ve Maimon, 2015: 72). Hata Tabanlı Budama, Kötümser Hata Budamanın aksine aşağıdan yukarıya doğru çalışır ve Kötümser Hata Budamasına göre daha kötümserdir ve küçük ağaçlar üretmektedir (Barros vd., 2015: 34; Grąbczewski, 2014: 59-60). EBP ve PEP, ağaçların yapılandırılması ve basitleştirilmesi için eğitim setinde bilgi kullanır (Esposito vd., 1999: 292). Hata Tabanlı Budamanın önemli bir özelliği ve avantajı ilginç alt dalları göz ardı

etmeden gereksiz, kullanışsız dalların budanmasına izin veren aşılama operasyonudur (grafting operation) (Barros vd., 2015: 35).

4.6. Kritik Değer Budama

Kritik Değer Budama (Critical Value Pruning-CVP) stratejisi, Maliyet Karmaşıklık Budama stratejisi gibi aynı aşamalı yaklaşımı izler. Fakat budama için yeni bir iyilik ölçüsü tanımlamak yerine, ağacın büyümesi için kullanılan aynı kriter yeniden kullanır. Büyüme aşamasında her düğüm için bölünme kriterleri değerlerini kaydeder (Lee vd., 2015: 98). Bu yöntemde kritik değer olarak adlandırılan eşik değeri bir düğümün önemini veya gücünü hesaplamak için ayarlanır, düğüm kritik değere ulaşmadığı sürece budama yapılır. Bir düğüm budama koşullarını sağlasa bile, bu düğümün çocukları budama koşulunu sağlamadıkları zaman bu düğüm budanmaz. Eğer daha büyük bir kritik değer seçilirse daha şiddetli budama olacağından dolayı daha küçük bir ağaç elde edilecektir (Cai, 2006: 17-18). Mingers (1987) kritik değer budamayı iki ana adımda, aşağıdaki gibi açıklamaktadır (Barros vd., 2015: 33; Esposito vd., 1997: 480).

1. Kritik değerleri artırmak için alt ağacı budamak (Budanmış ağaçların kümesini oluşturma).
2. Budanmış ağaç dizisi arasından bir bütün olarak ağacın önemini (G istatistiğine dayalı olarak) ve tahmin yeteneğini veya doğruluğunu (budama setine dayalı olarak) ölçerek en iyi ağacı seçmek.

Bu yöntemin dezavantajı yetersiz budamaya (underprune) güçlü eğilimi olması ve düşük öngörü doğruluğuna sahip ağaçları seçmesidir (Cai, 2006: 18). Diğer bir dezavantaj ise Kritik Değer Budamanın, Azaltılmış Hata Budamasında olduğu gibi bir budama kümesine (budama seti) ihtiyacının olmasıdır (Barros vd., 2015: 33).

4.7. Optimal Budama

Bratko ile Bohanec (1994) çalışmalarında, daha önceki yöntemlerin optimal altı çözümlere yol açtığını göstermiş ve optimum budamayı bulma konusunu başka bir şekilde ele alarak Optimal

Budamayı garanti eden bir algoritma (OPT) tanıtmışlardır. Dinamik programlamaya dayalı olan OPT algoritması, $O = (s^2)$ sürede (Burada s: Başlangıç karar ağacının yapraklarının sayısını göstermektedir) budanmış ağaç dizisini üretmektedir. Almuallim Optimal Budamayı (OPT) düzelterek yeni bir versiyonunu OPT-2'yi oluşturmuştur (Almuallim, 1996: 348). Breiman vd. (1984) Optimal Budamanın matematiksel özelliklerini doğrulamış, ayrıca “k” aday arasından, belirli bir optimal budanmış alt ağacı seçmek için bir algoritma tanıtmışlardır (Cai, 2006: 18).

4.8. Minimum Tanım Uzunluğu Budama

Düğümün geliştirilmiş doğruluğunu değerlendirmek için kullanılabilen MDL (Minimum Description Length), ağacı kodlamak için gereken bit sayısı vasıtasıyla karar ağacının boyutunu ölçmektedir (Rokach ve Maimon, 2015: 73). MDL prensibi “en iyi” sınıflandırma ağacı olduğunu belirtmektedir, bu ağaç en az sayıda bit ile kodlanmıştır. Bu nedenle ilk önce, herhangi bir ikili karar ağacını kodlamayı sağlayan kodlama şemasını tanımlamak gerekmektedir. Bir kodlama şeması göz önüne alındığında, en az kod uzunluğuna sahip alt ağacı seçerek belirli bir sınıflandırma ağacını budanabilir (Gehrke, 2003: 15). Bir “t” yaprağındaki bölünmenin maliyeti;

$$Cost(t) = \sum_{c_i \in dom(y)} |\sigma_{y=c_i} S_t| \cdot \ln \frac{|S_t|}{|\sigma_{y=c_i} S_t|} + \frac{|dom(y)| - 1}{2} \ln \frac{|S_t|}{2} + \ln \frac{\pi^{\frac{|dom(y)|}{2}}}{\Gamma(\frac{|dom(y)|}{2})}$$

şeklinde tahmin edilebilir. “t” düğümüne ulaşmış örnekler S_t , bir iç düğümün bölünme maliyeti kendi alt (çocuk) düğümlerinin maliyeti toplamına dayalı olarak hesaplanır (Rokach ve Maimon, 2015: 73).

Ayrıca, Wallace ve Patrick (1993) Minimum Mesaj Uzunluk Budama Yöntemini (MML) önermiştir, Kearns ve Mansour (1998) budama algoritmasını teorik olarak kanıtlamıştır (Rokach ve Maimon, 2015: 73). Bir diğer budama yöntemi Fournier ve Crémilleux (2002)

tarafından sunulan Derinlik Safsızlık Budamadır. (DIP-Depth Impurity Pruning). Karar ağaçları literatüründe ayrıca Doğrulama Tabanlı Budama adında bir budama tekniği de bulunmaktadır (Grabczewski, 2014: 62-63).

5. Karar Ağaçlarının Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Bir karar ağacının etkinliği, karar ağacına bir test kümesinin (karar ağacını oluştururken kullanılmamış olan kayıtlar koleksiyonu) uygulanmasıyla ve doğru sınıflandırma yüzdelerinin gözlenmesiyle belirlenir. Bu işlem karar ağacının bütünü için bir sınıflandırma hata yüzdesi elde etmemizi sağlar, ancak karar ağacının bağımsız dallarının kalitesine dikkat etmek önemlidir. Karar ağacında yer alan her yol bir kuralı temsil eder ve bazı kurallar diğerlerinden daha iyi ve anlamlıdır. İster son düğüm (yaprak düğüm) ister dallanma düğümü olsun her bir düğümde aşağıdaki unsurlar ölçülebilir (Berry ve Linoff, 2004: 176; Irmak, 2009: 41).

1. Düğüme giren kayıt sayısı
2. Her sınıfta yer alan kayıtların yüzdesi
3. Mevcut düğümün son düğüm olması durumunda buradaki kayıtların nasıl sınıflandırılacağı
4. Mevcut düğümde sınıflandırılan kayıtların sınıflama doğruluğu yüzdesi
5. Eğitim seti (training set) ve kontrol seti (test set) arasındaki varyans dağılımı

6. SONUÇ

Bu çalışmada, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde sıklıkla tercih edilen Karar Ağaçları konusu detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Makine Öğrenmesi yöntemlerinden birisi olan Karar Ağaçları; Rastgele Orman, XGBoost, Gradient Boosting gibi Topluluk Tabanlı Öğrenme yöntemlerinin temelini oluşturması bakımından son derece önemlidir. Karar Ağaçları algoritmaları, bölünme (dallanma) yöntemleri ve oluşturulan ağaçların sadeleştirilmesi ya da budanması detaylı bir şekilde açıklanmış ve denklemlerle ifade edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Almuallim, H. (1996). An efficient algorithm for optimal pruning of decision trees. *Artificial Intelligence* 83(2): 347-362.
- Barros, R. C., de Carvalho, A. C. & Freitas, A. A. (2015). *Automatic design of decision-tree induction algorithms*, Springer, Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London.
- Berry, M. J. A. & Linoff, G. S. (2004). *Data mining techniques for marketing, sales, and customer relationship management (second edition)*, Wiley Publishing Inc., Indianapolis, Indiana.
- Bramer, M. (2007). *Principles of data mining*, Springer, London.
- Bratko, I. & Bohanec, M. (1994). Trading accuracy for simplicity in decision trees, *Machine Learning*, 15: 223–250.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A. & Stone, C. J. (1984). *Classification and regression trees*. Wadsworth, Pacific Grove, CA.
- Brodley C. E. & Utgoff P. E. (1995). Multivariate decision trees, *Machine Learning*, 19: 45–77.
- Cai, J. (2006). *Decision tree pruning using expert knowledge*, Doctoral dissertation, The Graduate Faculty Of The University of Akron, ABD.
- Cieslak, D. A. & Chawla, N. V., (2008). Learning decision trees for unbalanced data. *Machine learning and knowledge discovery in databases. Springer Berlin Heidelberg, Proceedings, Part I: 241-256.*
- Donskoy, V. I. (2013). Splitting criteria, binary decision tree synthesis, and algorithm LISTBB. *Tavriceskij vestnik informatiki i matematiki*, 22(1): 11-34.
- Ercan, U. (2016). *Veri madenciliği ile hanehalkı yağ tüketiminin modellenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.*
- Ercan, U. (2021). The Determinants of Turkey household catastrophic health expenditures: a different approach by data mining. *Alphanumeric Journal*, 9(2): 229-246.

- Esposito, F., Malerba, D., Semeraro, G. & Kay, J. A. (1997). A comparative analysis of methods for pruning decision trees. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(5): 476-491.
- Esposito, F., Malerba, D., Semeraro, G. & Tamma, V. (1999). The effects of pruning methods on the predictive accuracy of induced decision trees. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 15(4): 277-299.
- Ferri, C., Flach, P. & Hernández-Orallo, J. (2002). Learning decision trees using the area under the ROC curve. In *ICML (Vol. 2)*, (pp. 139-146).
- Fayyad, U. M. & Irani, K. B. (1992). The attribute selection problem in decision tree generation. In *AAAI*, 12–16 July, 1992, San Jose, California, (pp. 104-110).
- Fournier, D. & Crémilleux, B. (2002). A quality index for decision tree pruning. *Knowl-Based Syst*, 15(1–2): 37–43.
- Friedman, J. H. (1977). A recursive partitioning decision rule for nonparametric classification. *IEEE Transactions on Computers*, C-26, 4: 404-408.
- Friedman J. H. (1991). Multivariate adaptive regression splines, *The Annual of Statistics* 19: 1–141.
- Gehrke, J. (2003). Decision trees, (Ed.) Ye, N. In *The Handbook of Data Mining (1st Edition)*. CRC Press, New Jersey.
- Gelfand S. B., Ravishankar C. S. & Delp E. J. (1991). An iterative growing and pruning algorithm for classification tree design. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 13(2): 163–174.
- Gini, C. (1912). Variabilità e Mutuabilità. Contributo allo Studio delle Distribuzioni e delle Relazioni Statistiche. C. Cuppini, Bologna.
- Grąbczewski, K. (2014). *Meta-learning in decision tree induction*. Springer International Publishing, Switzerland.
- Holte R. C. (1993). Very simple classification rules perform well on most commonly used datasets, *Machine Learning* 11: 63–90.

- Han, J. & Kamber, M. (2006). *Data mining: concepts and techniques* 2nd edition, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA
- Irmak, S. (2009). *Veri madenciliği yöntemleri ile sağlık sektörü veritabanlarında bilgi keşfi: tanımlayıcı ve kestirimci model uygulamaları*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Kantardzic, M. (2011). *Data mining: concepts, models, methods, and algorithms*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Kass, G. V. (1980). An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*. 29(2): 119–127.
- Lee, V. E., Liu, L. & Jin, R. (2015). *Decision trees: theory and algorithms*, Aggarwal, C. C. (Ed.). In *Data classification: algorithms and applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Loh, W. Y. & Shih, Y.-S. (1997). Split selection methods for classification trees. *Statistica sinica*. 7, 815–840.
- Loh W. Y. & Vanichsetakul N. (1988). Tree-structured classification via generalized discriminant Analysis, *Journal of the American Statistical Association* 83: 715–728.
- López de Mántaras, R. (1991). A distance-based attribute selection measure for decision tree induction. *Machine Learning*, 6: 81–92.
- Kearns, M. & Mansour, Y. (1998). A fast, bottom-up decision tree pruning algorithm with near-optimal generalization, In *Proceedings of the 15th International Conference on Machine Learning*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers, Inc. (pp. 269–277).
- Mingers, J. (1987). Expert systems—rule induction with statistical data. *Journal of the Operational Research Society*, 38(1): 39–47.
- Mingers, J. (1989). An empirical comparison of selection measures for decision tree induction, *Machine Learning*, 3(3): 319–342.
- Morgan, J. N. & Messenger, R.C. (1973). THAID: a sequential search program for the analysis of nominal scale dependent variables.

- Institute for Social Research, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Morgan, J. N., Sonquist, J. A. (1963). Problems in the analysis of survey data, and a proposal. *J. Amer. Statist. Assoc.* 58, 415–434.
- Muller W. & Wysotzki F. (1994). Automatic construction of decision trees for classification, *Annals of Operations Research* 52: 231–247.
- Niblett, T. & Bratko, I. (1987). Learning decision rules in noisy domains. In *Proceedings of expert systems '86, the 6th annual technical conference on research and development in expert systems III* (pp. 25–34). New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Nisbet, R., Elder, J. & Miner, G. (2009). *Handbook of statistical analysis and data mining applications*. Academic Press Elsevier, Canada.
- Nisbet, R., Miner, G., & Yale, K. (2018). *Handbook of statistical analysis and data mining applications (second edition)*. Academic Press, Elsevier Inc., London.
- Oğuzlar, A. (2004). CART analizi ile hanehalkı işgücü anketi sonuçlarının özetlenmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18(3-4): 79-90.
- Palmer, A., Gervilla, E. & Jiménez, R. (2011). *Data mining: machine learning and statistical techniques*. INTECH Open Access Publisher.
- Prabhu, S. & Venatesan, N. (2007). *Data mining and warehousing*, New Age International (P) Limited, Publishers, New Delhi.
- Quinlan, J. R. (1979). Discovering rules by induction from large classes of examples. In: Michie, D. (Ed.), *Expert Systems in the Microelectronic Age*. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1: 81–106.
- Quinlan, J. R. (1987). Simplifying decision trees. *International journal of man-machine studies*, 27: 221–234.

- Quinlan J. R. (1988). Decision trees and multivalued attributes, In Machine Intelligence, J. Richards (Ed.), Vol. 11, pp. 305–318, Oxford, England: Oxford Univ. Press.
- Quinlan, J. R. (1993). C4.5: programs for machine learning. Morgan Kaufmann, San Mateo.
- Rastogi R. & Shim K. (2000). PUBLIC: A decision tree classifier that integrates building and pruning, Data Mining and Knowledge Discovery 4(4):315–344.
- Rokach, L. & Maimon, O. (2010). Maimon, O. & Rokach, L. (Ed). Classification Trees. In Data mining and knowledge discovery handbook (Vol. 2). Springer, New York.
- Rokach, L. & Maimon, O. (2015). Data mining with decision trees: theory and applications (2nd edition). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- Rounds, E. M. (1980). A combined nonparametric approach to feature selection and binary decision tree design. Pattern Recognition. 12(5): 313–317.
- Steinberg, D. (2009). CART: Classification and Regression Trees, Wu, X. & Kumar, V. (Ed.). In Top Ten Algorithms In Data Mining. CRC Press, Boca Raton.
- Sumathi, S. & Sivanandam, S. N. (2006). Introduction to data mining and its applications, Springer, Berlin.
- Sutton, C. D. (2005). Classification and regression trees, bagging and boosting, Rao, C. R., Wegman, E.J. & Solka, J.L. (ed.). In Handbook of Statistics 24: Data Mining and Data Visualization, Elsevier B.V., The Netherlands.
- Tapkan, P., Özbakır, L. & Baykasoğlu, A. (2011). Weka ile veri madenciliği süreci ve örnek uygulama. Endüstri Mühendisliği Yazılımları ve Uygulamaları Kongresi, 30 Eylül-02 Ekim, İzmir, (s. 247-262).
- Timofeev, R., (2004). Classification and regression trees (CART) theory and applications. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Humboldt University CASE - Center of Applied Statistics and Economics, Berlin.

- Utgoff P. E. & Clouse, J. A. (1996). A Kolmogorov–Smirnov metric for decision tree induction, Technical Report 96-3, University of Massachusetts, Department of Computer Science, Amherst, MA.
- van Diepen, M. & Franses, P. H. (2006). Evaluating chi-squared automatic interaction detection. *Information Systems*, 31(8): 814-831.
- Wallace, C. S. & Patrick, J. (1993). Coding decision trees, *Machine Learning* 11: 7–22.
- Wong, M. L. & Leung, K. S. (2002). *Data mining using grammar based genetic programming and applications*, The USA, Kluwer Academic Publishers.

BÖLÜM 4

AKILLI ŞEHİR UYGULAMALARI İÇİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ

Yüksek Müh. Hande Nur ALP¹

Prof. Dr. Gencay SARIİŞİK²

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Şanlıurfa, Türkiye, handenur1627@gmail.com, Orcid ID:0000-0002-4063-1769

² Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Şanlıurfa, Türkiye, gsariisik@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1112-3933

³Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze enerji kavramı ekonomik ve sosyal yapının gelişimini sağlayarak, çağdaş ülkelerin bulunduğu duruma gelebilmek için çok büyük öneme sahiptir. Dünya ekonomisinin gelişimi ile ülkelerin enerji gereksinimleri gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Bununla birlikte küresel iklim değişikliği beraberinde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmıştır (Atılğan vd., 2007; Vine, 2008). İnsanlığın gidişatını çarpıcı ölçüde etkileyen 18.yy Endüstri devrimi ile varoluşumuzun en büyük gereksinimlerinden olan enerji; sanayi, sağlık, bilişim gibi birçok sektörde ve hayatımızın her alanında faaliyet göstermektedir. Bu enerji gereksinimini karşılamak için günümüze kadar tartışmasız en çok tercih edilen kaynaklar fosil yakıtlar olmuştur (Yılmaz, 2016).

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr enerjisi kullanım potansiyeli en yüksek enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Rüzgâr enerjisi tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında az maliyetli, güvenilir ve çevreye duyarlıdır. Bundan dolayı her geçen gün enerji kullanımında rüzgâr enerjisi tercih edilmektedir. Dünya'da hızla gelişen rüzgâr enerjisinin Türkiye'de de kullanımı artmaktadır. 2009 yılında ortalama artış %42 civarındadır. 2010 yılında Türkiye'de rüzgâr santralleri kurulu gücü 1320 MW, 2011 yılında 1805 MW iken her yıl 750-1000 MW artışla 2018 yılında 7369 MW'a artmıştır (EPIAŞ, 2019; TÜREB, 2019).

2020 yılında yenilenebilir enerji üretim kapasitesi, son yıllara göre çok daha fazla artmış ve uzun vadeli eğilimin çok üzerine çıkmıştır. Bu artışın en büyük payı Çin'de ve ikinci olarak da Amerika Birleşik Devletleri'ndedir. Diğer ülkelerin çoğu, önceki yıllara benzer bir oranda yenilenebilir kapasiteyi artırmaya devam etmiştir. 2020'de yenilenebilir kapasitedeki artış, 2019'daki %73'e kıyasla %82'ye ulaştı. Toplam üretim kapasitesinin yenilenebilir payı da iki puan artarak 2019'da %34,6'dan 2020'de %36,6'ya yükseldi (IRENA, 2021).

Türkiye'nin 2020 yılında elektrik enerjisinin %10'unu rüzgâr enerjisinden karşılamaktır. Rüzgâr enerjisi kapasitesinin 2027 yılına kadar 16 bin MW'a çıkartılması hedeflenmektedir. Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr potansiyelinin 11 bin MW karada ise 37 bin MW olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye elektrik ihtiyacının yarısını yani 48 bin MW'ını rüzgâr enerjisinden karşılayabilir (Gültekin, 2019).

Rüzgâr türbinleri yatay eksenli, dikey eksenli ve eğik eksenli türbinlerden oluşmaktadır (Elibüyük ve Üçgül, 2014). Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi için popüler olan üç kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Bu türbinlerin rüzgâr gücünü elektriğe çevirme verimleri %25 seviyelerinde kalarak büyük kayıplar oluşmaktadır. Eğer rüzgarın esme yönü değişirse türbinin kontrol sisteminin kanat pozisyonlarını ayarladığı zaman diliminde tesiste oluşan kayıplar daha da fazla olmaktadır. Bu durum mevcut kanat teknolojisinin ne kadar hassas olduğunu göstermektedir. Türbin üretimi için kullanılan yüksek teknolojilerde üretim maliyetini arttırmaktadır. Türbin parçalarının boyutlarının büyük ve ağırlıklarının fazla olması ise nakliye ve kurulumun daha zor ve maliyetli olmasına neden olmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İncecik ve ark., (1995) Anadolu'nun batısında 8 farklı bölgedeki istasyondan aldığı verilere göre Weibull dağılımını kullanarak rüzgâr enerjisi potansiyelini incelemiştir. Akpınar ve ark., (2004) Elâzığ Ağın bölgesi için 5 yıllık, saatlik alınan rüzgâr verileri analiz edilmiştir. Talayoğlu, (2010) Üç farklı zaman aralığı olarak toplanan verilerle, rüzgâr santralleri kurulumu için ihtiyaç olan fizibilite çalışmalarında kullanılan modellerden birisi olan WASP modelini kullanarak Denizli Tavas bölgesinin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemiştir. Banos ve ark., (2011) yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji alanındaki tasarım, planlama ve kontrol problemleri için optimizasyon algoritmalarının kullanımına ilişkin en son araştırma gelişmelerine genel bir bakış sunmuşlardır. Karatepe, (2011) rüzgâr enerjisinin Dünya ve Türkiye

genelindeki potansiyelini incelemiştir. Kavun, (2018) rüzgâr enerjisinin gelişimi ve Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli hakkında literatür araştırması yapmıştır. Arslan, (2009) Kütahya Bunelek'te bulunan bir istasyondan 2001 Temmuz ayı ve 2004 Haziran ayları arasında toplanan 36 aylık veri de birkaç farklı rüzgâr türbin çeşidinden elektrik üretilmiştir. Özay ve ark, (2016) Çeşme Alaçatı bölgesi için bu bölgedeki bir istasyondan 10ar dakikalık aralıklarla farklı yüksekliklerden beş buçuk yıl boyunca alınan verileri analiz etmişlerdir. Oral, (2020) Bitlis ili için rüzgâr enerjisi potansiyeli ölçümü Weibull dağılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Çelikdemir ve Özdemir, (2020) Adilcevaz bölgesinin rüzgâr enerji potansiyelinin proje yatırımlarına uygunluğu incelenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

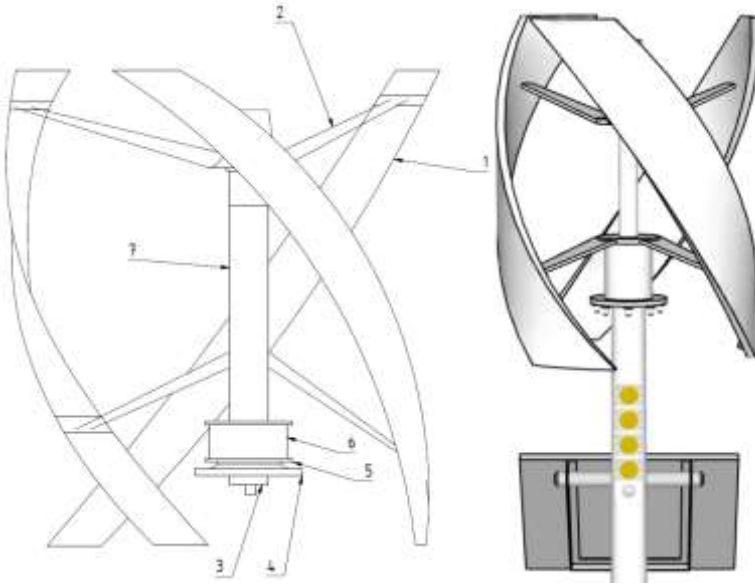
Çalışma kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden İzmir, Manisa, Çanakkale, Balıkesir, Aydın illeri için alınan 10 yıllık sıcaklık, nem, hava basıncı, hava yoğunluk, rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Aynı zamanda tasarımı yapılmış olan helezonik yapılı rüzgâr türbini de çalışmanın diğer bir bacağına oluşturmaktadır.

3.2. Dikey Rüzgâr Türbini Tasarımı

Bu çalışmada helezonik yapılı rüzgâr türbini mevcut tasarımı incelenmiş ve helezonik yapıya sahip manyetik alan destekli rüzgâr türbini genel amacı için tasarımı oluşturulmuştur. Rüzgâr türbini ve güneş paneli ile desteklenmiş çevre aydınlatma sistemlerine göre doğru tasarım oluşturmak için rüzgâr türbini gücü analizinde rüzgâr hızı, hava yoğunluğu, nem, sıcaklık ve hava basıncı türbin boyutu seçiminde kullanılmıştır. Bu çalışmada kısıtlar tasarım ve performans kriterleri olarak iki aşamada değerlendirilmiştir.

3.3. Tasarım Kısıtları

Bu çalışma kapsamında, kanat yapısı ile dezavantajlar avantaja çevirebilmek için rüzgâr türbini helezonik yapılı ve manyetik alan destekli olacak şekilde tasarlanmıştır. Buna ek olarak rüzgârın esme yönünden etkilenmeden çalışmasına devam ederek enerji üretebilmesi hedeflenmiştir. Yapılan tasarımda, dayanıklı olması açısından çelik konstrüksiyon olması tercih edilmiş, sürtünmeyi azaltıp yüksek verimle çalışması için manyetik alan kullanılmıştır. Ayrıca sessiz çalışması, uzun ömürlü olması, sık bakıma ihtiyaç duymaması ve maliyeti düşük olması amaçlanmıştır. Helezonik yapıya sahip üç kanatlı rüzgâr türbininde bir direğe montajlanmış gövde, gövdenin alt kısmında jeneratör, gövdenin hem alt hem de üst kısmında 3 adet kanat bağlantısı ve kanat bağlantılarıyla birleştirilmiş 3 adet kanattan oluşmaktadır. Bunlarda birlikte hibrit çalışabilmesi için güneş paneli, batarya, led lambalar ve hareket sensörü de sistemin parçalarındandır (Şekil 1) (Sarıışık ve ark, 2019).



Şekil 1: Rüzgâr türbini tasarımı (Sarıışık ve ark, 2019)

Gelişimi sürekli artan rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin sürdürülebilirliğini de kullanarak bu çalışma kapsamında rüzgâr ve güneş enerjisi destekli sokak aydınlatma sistemi tasarlanmıştır.

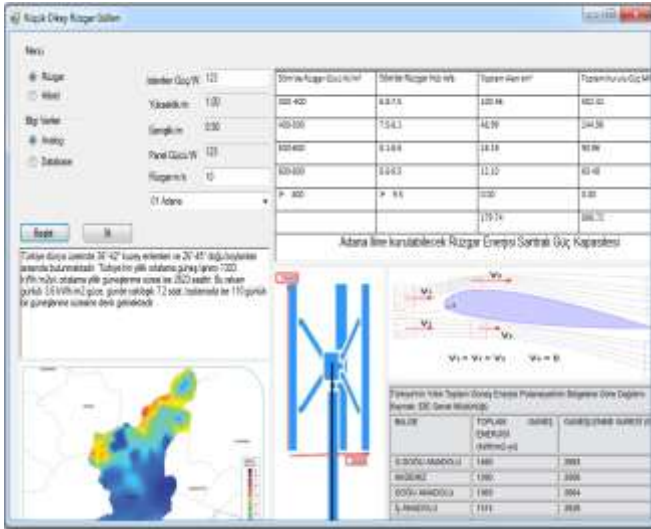
3.4. Performans Ölçütleri

Helezonik yapıya sahip olması ile hedeflenen rüzgâr esme yönü ne olursa olsun çalışarak enerji üretebilmesidir. Aynı zamanda dayanıklı, hafif ve sessiz olarak rüzgâr kuvvetini enerjiye en verimli şekilde çeviren yapıya sahip olması amaçlanmıştır. Tasarlanan rüzgâr türbininin 5 farklı yenilikçi yönü sayılabilir. Bunlardan ilki, rüzgâr ve güneş enerjisini aynı anda kullanabilecek ve birisi devre dışı kaldığında birbirlerini destekleyebilecek şekilde entegre sistem kurulmuş, akıllı çevre aydınlatma sistemi olmasıdır. Gelişebilecek bir aksilikte entegre sistemden ikisi de çalışmaz ise tasarım dahilindeki piller ile depolamış olduğu mevcut enerjiyi ihtiyaç anında devreye girebilecek bir yapı kurulmuştur. Bu nedenle sistemin aydınlatamama seçeneği ortadan kalkmıştır. İkinci yenilikçi yön olarak, ortamı aydınlatması için 3-4 m/s rüzgâr hızı ile çalışabilecek LED aydınlatmalar düşünülmüştür. Üçüncü yenilikçi yön olarak, 3-5 gün rüzgârsız LED lambaların çalışması için 2*2.3V / 30 Amper saat özel düşünülmüş bataryalar sisteme dahil edilmiştir. Diğer bir yenilikçi taraf, bataryanın daha uzun dayanımı için, LED sistemi ile hareket duyarlılığı devreye girdiğinde belli bir sürede 3 LED aynı anda yanmaktadır. Hareket yok ise bekleme durumuna geçiş yaparak 1 LED yanmaktadır. Sonucu yenilikçi yön olarak da, manyetik alan destekli daha hafif, rüzgâr kuvvetinden sessiz bir şekilde yararlanarak, verimli ve daha uzun ömürlü bir sistem düşüncesi ile rüzgâr türbinin gövdesi mıknatısla havada tutularak sürtünme oluşmadan 40-160 W elektrik enerjisi üretmesi hedeflenmiştir.

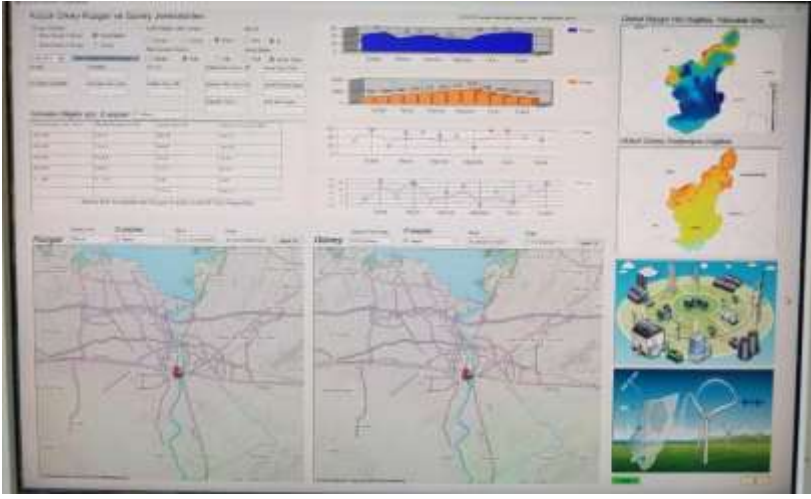
3.5. Program Yazılımı

Çalışma kapsamında, helezonik yapıya sahip manyetik alan ile desteklenmiş üç kanatlı rüzgâr türbini tasarlanmış, hibrit çalışma yapısına sahip rüzgâr ve güneş enerjisini kullanan akıllı sokak aydınlatma sistemi geliştirilmiş ve bunlara ek olarak entegre bir şekilde çalışacak iki farklı program oluşturulmuştur. İlk programda bölge için gerekli rüzgâr türbini ile güneş panelinin kapasitesi ayrıca çevreyi aydınlatmada kullanılacak LED gücü belirlenmektedir. Bunun için de rüzgâr ve güneş enerjisi ile ilgili gerekli bilgilerin (türbinin kesit alanı, ortalama rüzgâr hızı, havanın yoğunluğu, güneşlenme süresi gibi) programa girilmesi beklenmektedir (Şekil 2).

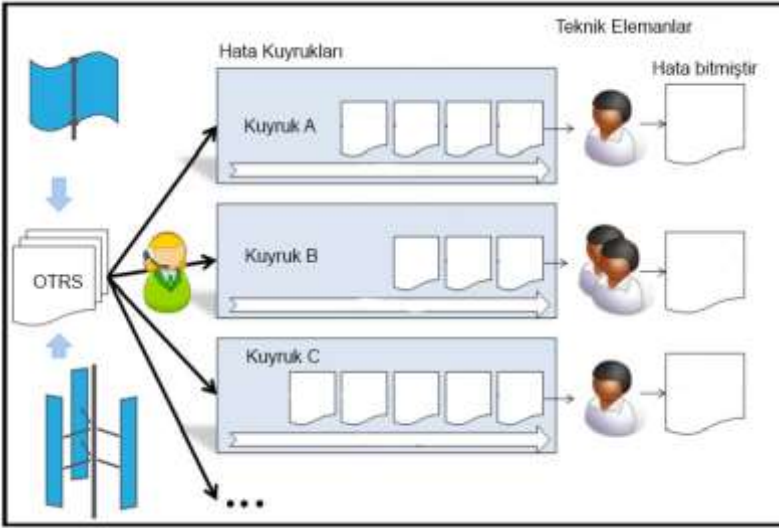
Diğer programda ise illerin haritalarını kullanarak nerelerde tasarlanmış çevre aydınlatma sisteminin bulunduğunu gösterebilecektir. Bununla birlikte bulut bilişim teknolojisini kullanarak arıza durumu gerçekleşecek olursa bunun tespit edilmesini sağlayacak ve bu sayede müdahaleyi hızlandırmış olacaktır (Şekil 3). Bulut bilişim teknolojisinde anlık veri akışının sağlanması için açık kaynak uyarı talep sistemi (OTRS) kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 2: Rüzgâr Türbini, güneş paneli ve LED gücü dahil birinci programın ara yüzü



Şekil 3: Harita üzerinden konum verebilen ikinci programın ara yüzü



Şekil 4: OTRS-çık kaynak uyarı talep sistemi

3.6. Rüzgar'dan Enerji Üretimi

Gücünü Güneş'ten alan rüzgâr, insanoğlunun en çok ihtiyaç duyduğu enerjilerden olan elektrik enerjisine dönüştürülme potansiyeline sahip ve bu sayede enerji endüstrisinin karbondan arındırılmasında önemli bir rol oynayan hava hareketidir. (Şahin,1994).

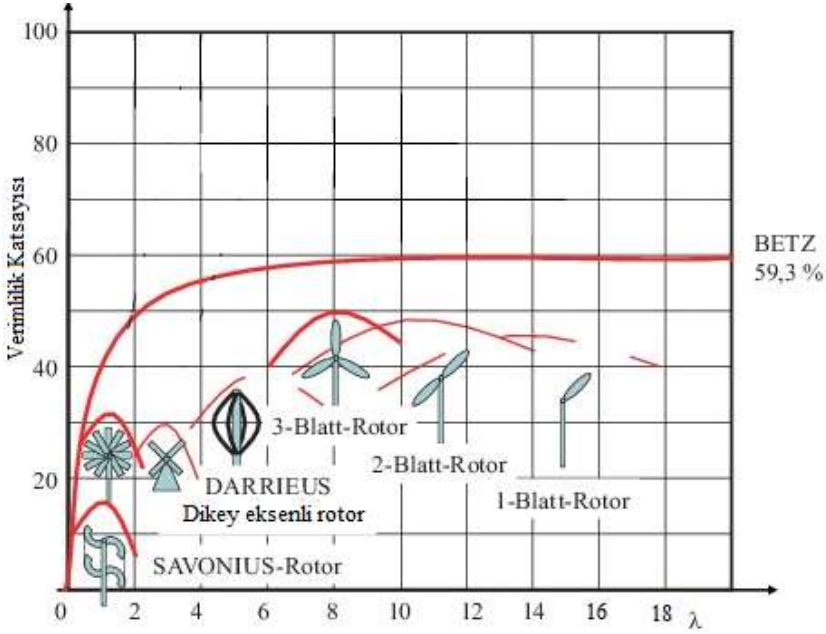
Bu enerjiden yararlanmak için öncelikli olarak rüzgâr güç potansiyelini bulmak gerekmektedir. Rüzgârdan elde edilecek güç; hava yoğunluğu (ρ), kanat süpürme alanı (A) ve hızın küpü (V^3) ile Denklem 1’de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır (Simmons, 1975).

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Hava yoğunluğu ise; 1 atmosfer basınçta 15,6 °C sıcaklıkta deniz seviyesindeki hava yoğunluğu ($\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$) ve deniz seviyesinden yüksekliği (H_m) değişkenleri kullanılarak Denklem 2’deki gibi hesaplanır (Patel, 1999).

$$\rho = \rho_0 - 1.194 \times 10^{-4} H_m \quad (2)$$

Rüzgâr türbinleri belli bir rüzgâr hızındayken elektrik üretimine başlayabilir ve devreye girme (cut-in: 2-4 m/s) ve devreden çıkma (cut-out: 25-35 m/s) hızları arasında üretim yapabilmektedir. Rüzgâr türbinleri için güç üretimini hesaplarken Betz limiti dikkate alınmaktadır. Günümüz teknolojisi ile havanın kinetik enerjisinin tamamını elektrik enerjisine dönüştürmek mümkün değildir. Bunun için hesaplamalarda havanın kinetik enerjisinden en yüksek derecede elektrik enerjisi üretilebilmesi için Betz limiti yaklaşık % 59 olarak alınmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin gelişimi ve verimliliğinin Betz limiti ile gösterimi Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Rüzgâr türbinlerinin evrimi ve verimliliği (Konyalı, 2019; Şenel, 2012)

Uluslararası ölçüm standartları yönteminden farklı olarak burada bilinmeyenler ikiye düşmektedir. Rüzgâr gücü hesaplamalarında eğer bağıl nem ve basınç yok ise hava yoğunluğu deniz seviyesinden yükseklik (Z) ve sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değerlerini kullanılarak hesaplamayı mümkün kılar (Technical University of Denmark, 2014). Sıcaklık ve deniz seviyesinden yükseklik değişkenlerini kullanarak hesaplanan hava yoğunluğu formülünde deniz seviyesi standart sıcaklığı ($t_o=288.15$ K), deniz seviyesi standart atmosferik basınç ($p_o=101325$ Pa), yer çekimi ($g=9.80665$ m/s²) ve düşey sıcaklık gradyanı ($L=0.0065$ K/m) değerleri ile Denklem 3'teki formül ile hesaplanmaktadır (Bingöl, 2018).

$$p(z) = p_o \left[\left(1 - \frac{Lz}{t_o} \right) \right]^{\frac{gM_a}{RL}} \quad (3)$$

3.7. İstatistiksel Analizler

Bu çalışma kapsamında öncelikli olarak 81 il için rüzgâr toplam kurulu güç – rüzgâr toplam alan en basit ve popüler denetimsiz makine öğrenimi algoritmalarından biri olan K-ortalamlar kümeleme yöntemi ile analiz edilmiş ve güneş potansiyel indeksi ile rüzgâr potansiyel indeksleri belirlenmiştir. Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemlerinden sayılan bu yöntem uygulanırken şu 4 basamak izlenmiştir (Hubert, 1974);

- 1- Veri kümesinde merkez sayısını ifade eden bir başlangıç kümesine sayısı belirlenir (k adet) ya da veri kümesindeki merkez noktalar tüm nesnelere ortalaması olarak kabul edilir,
- 2- k adet merkez nokta tanımlanır ve ardından merkezleri mümkün olduğunca küçük tutarak her veri noktasını en yakın kümeye tahsis edilir,
- 3- Küme merkezi her atamadan sonra yeniden hesaplanır,
- 4- Tüm birimler kümeler atanıncaya kadar 2. ve 3. basamaklar tekrarlanır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

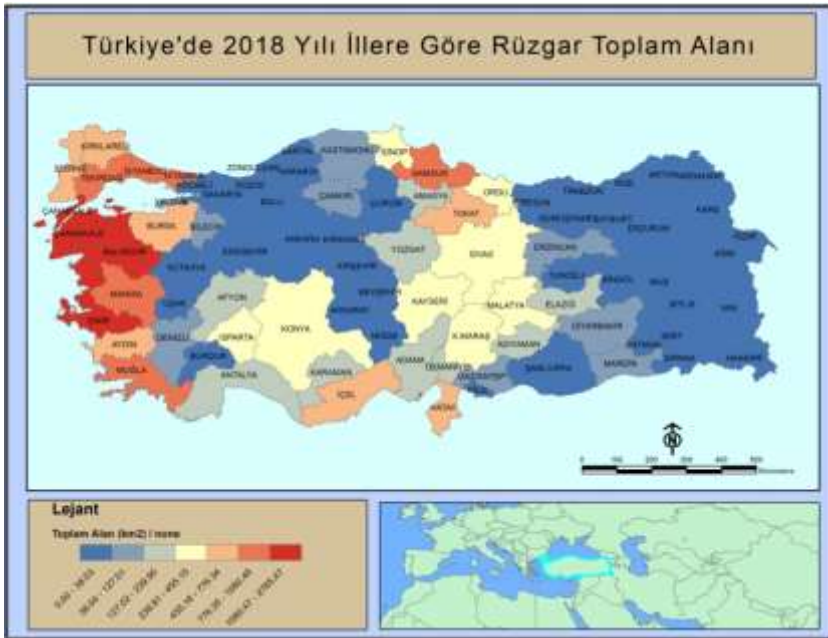
Bu çalışmada akıllı şehir uygulamaları için rüzgâr enerjisi potansiyeli indeksinin istatistiksel analizi yapılmış ve tartışmalarda bulunulmuştur.

4.1. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli İndeksinin İstatistiksel Analizle Belirlenmesi

Ülkemizin 81 ili için coğrafi veriler ve bunların istatistiksel analizlerini kullanarak ArcGIS desktop 10.5 programı ile 7 lejantlı RES haritaları oluşturulmuştur. Bunun için de RES kurulu güç ve RES toplam alan değişkenlerinden yararlanılmıştır.



Şekil 6: Türkiye’de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam kurulu güç



Şekil 7: Türkiye’de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam alanı

K ortalamalar kümeleme yöntemi ile bütün iller için rüzgâr potansiyeli sınıflandırılmış, 5 küme ve bu kümelerin sınırlarını oluşturan rüzgâr potansiyel indeksi aralıkları belirlenmiştir. Rüzgâr enerjisi toplam alan (km²) ve kurulu güce (MW) göre bu kümeler ve değer aralıkları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: K ortalamalar kümeleme yöntemi ile belirlenen rüzgâr potansiyel indeksi

Bağımlı Değişken	Kod	Rüzgâr Potansiyel İndeksi Aralığı	Rüzgâr Potansiyeli
Toplam Kurulu Güç (MW)	K ₁	< 300.69	Çok Düşük
	K ₂	300.70 - 2 719.88	Düşük
	K ₃	2 719.89 - 4 899.97	Orta
	K ₄	4 899.98 - 12 898.08	Yüksek
	K ₅	> 12 898.09	Çok Yüksek
Toplam Alan (m ²)	T ₁	< 60.14	Çok Düşük
	T ₂	60.15 - 543.98	Düşük
	T ₃	543.99 - 979.97	Orta
	T ₄	979.98 - 2 579.61	Yüksek
	T ₅	> 2 579.62	Çok Yüksek

Bu aralıklar göz önünde bulundurularak oluşturulan yeni haritalar Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 8: Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam kurulu güç yeni haritalandırma



Şekil 9: Türkiye'de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam alanı yeni haritalandırma

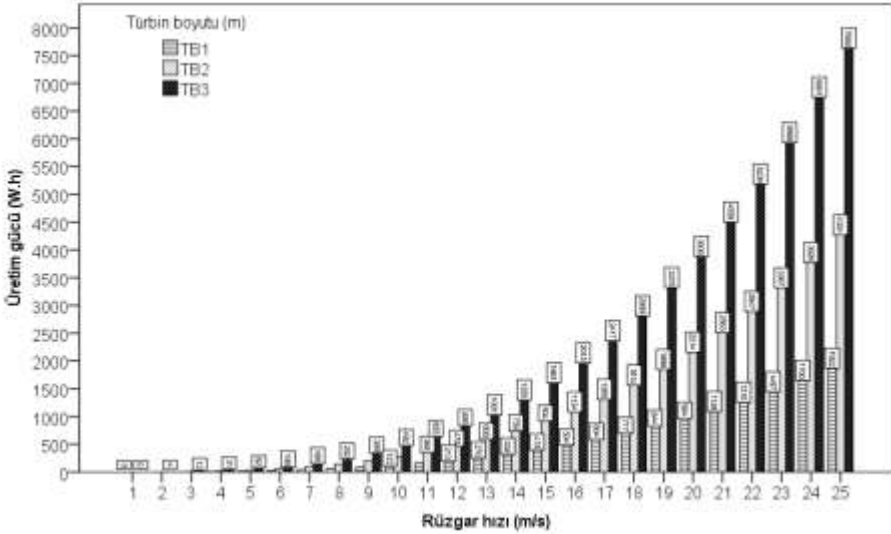
Belirlenen haritalarda toplam alan ve kurulu güçte en yüksek olan illerden İzmir, Aydın, Manisa, Balıkesir ve Çanakkale illeri için istatistiksel analizler yapılmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan İzmir, Aydın, Balıkesir, Çanakkale ve Manisa İllerine ait güneş ve rüzgâr ile ilgili (güneşlenme süresi, radyasyon değerleri, rüzgâr hızı, nem, sıcaklık ve basınç) günlük ve 10 yıllık veriler doğrultusunda analizler yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında 1-25 m/s rüzgâr hızında TB1, TB2, TB3 olarak belirlenen türbinlerin (boyutları farklı) arasındaki ilişki ANOVA testi ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Türbin boyutu bakımından farklı rüzgâr hızlarında istatistiki açıdan anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.001$). Bu sonuca dayanarak türbin boyutlarının türbinin tasarımında etkili var olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2: Rüzgâr türbini boyutlarının istatistiksel (ANOVA) analizi

N	Türbin Boyutu (m)		Ortalama Farkı (I-J)	Standart Hata	p-değeri	95% Güven Aralığı	
	Bağımsız Değişken (I)	Bağımsız Değişken (J)				Alt Limit	Üst Limit
TB	TB1	TB2	-649,59*	251,56	<0,001	-1257,99	-41,18
		TB3	-1559,03*	251,56	<0,001	-2167,43	-950,62
	TB2	TB1	649,59*	251,56	<0,001	41,19	1257,99
		TB3	-909,43*	251,56	<0,001	-1517,84	-301,03
	TB3	TB1	1559,03*	251,56	<0,001	950,62	2167,43
		TB2	909,44*	251,56	<0,001	301,03	1517,84

Şekil 10'da türbin boyutu ve rüzgâr hızlarına göre istatistiki olarak analiz edilmiş ve üretim gücü gösterilmiştir.



Şekil 10. Rüzgâr hızı-güç dağılım eğrisi

Belirtilen analiz sonucuna göre TB1-TB2-TB3 türbinlerinde üretim gücü ve rüzgâr hızının doğru orantılı artışı gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi en düşük üretim gücüne sahip türbin 0,123 W ile TB1 (1 m/s'de) ve en yüksek üretim gücüne sahip türbin 7687,5 W ile TB3 (25 m/s'de) türbinidir. Analiz sonucuna göre türbin boyutu artarken üretim gücünün de artışı belirlenmiştir. Tasarlanmış rüzgâr türbininde 10 W ve 40 W'lık değer aralığında 4 adet LED aydınlatma kullanılmıştır. Bu da 40 W ile 160 W arasında enerjiye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Buna göre TB1 boyutunda yaklaşık 7-11 m/s rüzgâr hızında 40-160 W arasında, TB2 boyutunda yaklaşık 6-9 m/s rüzgâr hızında 60-200 W arasında, TB3 boyutunda yaklaşık 5-7 m/s rüzgâr hızında 60-170 W arasında üretim kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

4.2.Rüzgâr Türbini Gücü Analizi

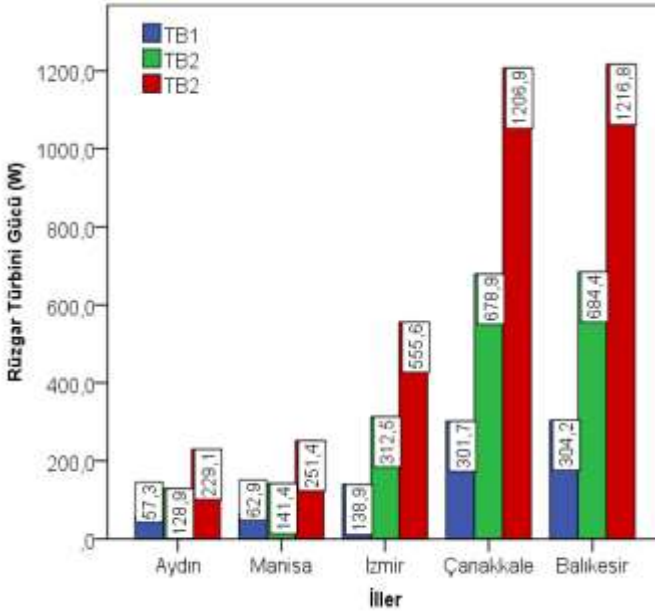
Tasarımı yapılan üç farklı türbin boyutları ile üretim gücü arasındaki ilişki illere ve yıllara göre istatistiksel (ANOVA) analizi yapılmıştır. Değişik rüzgâr hızlarında türbin boyutu, türbin rüzgâr gücü bakımından iller ve yıllar arasında istatistiki açıdan anlamlı fark tespit

edilmiştir ($p < 0.001$). Buna göre türbin gücünde türbin boyutlarının etkili olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: İllere göre rüzgâr türbini gücünün istatistiksel (ANOVA) analizi

Bağımlı Değişken	Yer				
	Yer	Ortalama	Std. Hata	%95 Güven Aralığı	
				Alt Limit	Üst Limit
Güç1	Aydın	57,28	3,87	49,70	64,87
	Manisa	62,85	3,87	55,27	70,44
	İzmir	138,89	3,87	131,31	146,47
	Çanakkale	301,72	3,87	294,13	309,30
	Balıkesir	304,19	3,87	296,61	311,78
Güç2	Aydın	128,89	8,71	111,82	145,95
	Manisa	141,42	8,71	124,35	158,48
	İzmir	312,50	8,71	295,44	329,56
	Çanakkale	678,87	8,71	661,80	695,93
	Balıkesir	684,43	8,71	667,37	701,50
Güç3	Aydın	229,13	15,48	198,79	259,47
	Manisa	251,41	15,48	221,07	281,74
	İzmir	555,56	15,48	525,22	585,89
	Çanakkale	1206,87	15,48	1176,54	1237,21
	Balıkesir	1216,77	15,48	1186,44	1247,11

Şekil 11’de illere göre farklı rüzgâr türbini boyutunda rüzgâr türbini gücü (W) verilmiştir. Buna göre Çanakkale ve Balıkesir illerinde TB3 türbin boyutunda yaklaşık 1200 (W) değeri ile en yüksek iken Aydın ve Manisa illerinde yaklaşık 60 (W) değeri ile en düşük değeri almaktadır.



Şekil 11: İllere göre farklı rüzgâr türbini boyutunda rüzgâr türbini gücü (W)

4.3. Rüzgâr Türbini Gücü Regresyon Modeli

Rüzgâr hızının TB1 türbininin üzerindeki etkisini analiz ettiğimizde rüzgâr hızı ve TB1 arasındaki doğrusal korelasyon katsayısının değeri $R=0,869$, belirlilik katsayısı $R^2=0,756$ bulunmuştur. Buna göre TB1 değişkenindeki varyasyonun %75,6'sinin rüzgâr hızı değişkeninden kaynaklandığı söylenebilir (Tablo 4).

Tablo 4: Rüzgâr türbini boyutlarının (TB1) regresyon analizi

Model Özeti			
R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Std. Tahmin Hatası
0,869	0,756	0,756	128,898
Bağımsız değişken Hız.			

Tablo 5'e göre F değeri ve p değerine bakarak bu regresyon analizinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Rüzgâr hızı değişkeni TB1 değişkeninin anlamlı bir tahmin edicisidir.

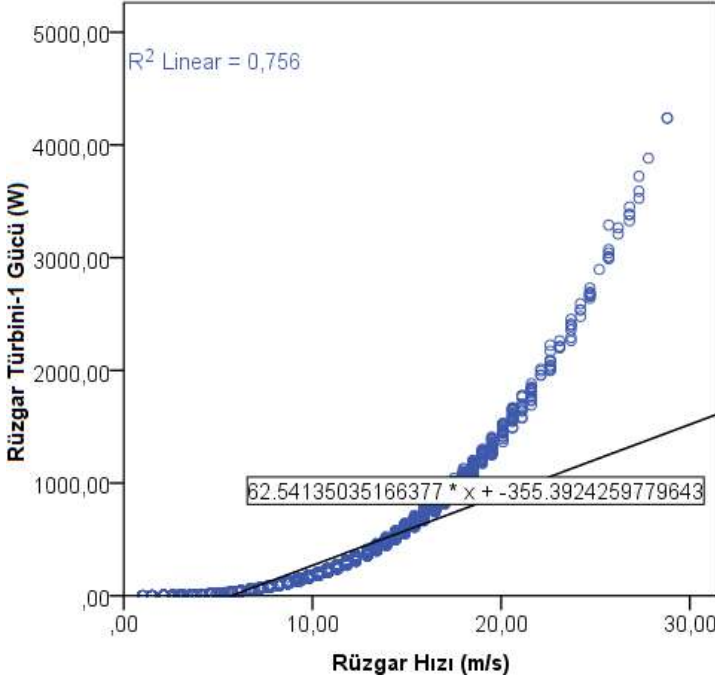
Tablo 5: Rüzgâr türbini boyutlarının (TB1) istatistiksel (ANOVA) analizi

ANOVA					
	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	p değeri
Regresyon	955275027,68	1	955275027,68	57496,03	0,001
Hata	308899127,59	18592	16614,63		
Genel	1264174155,27	18593			
Bağımsız değişken Hız.					

Tablo 6'ya göre rüzgâr hızı değişkeninin regresyon katsayısı 62,541 ve standartlaştırılmış regresyon katsayısı 0.869 olarak rapor edilmiştir. Modeldeki sabit değer -355,392'dir. Burada rüzgâr hızı değerindeki bir birimlik artışın TB1'in gücünü 62,541 birim arttırdığını söyleyebiliriz. Yapılan analizlerde, rüzgâr hızı ve TB1 arasındaki belirlilik katsayısı değeri $R^2=0.756$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.22). Bu değer rüzgâr hızı ve TB1 arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Tablo 6: Rüzgâr türbini boyutları (TB1) ve rüzgâr hızı arasında istatistiksel (ANOVA) analizi

Katsayılar					
	Standartlanmamış Katsayılar		Standart Katsayılar	t	p değeri
	B	Std. Hata	Beta		
Hız	62,541	,261	0,869	239,783	0,001
(Sabit)	-355,392	2,398		-148,205	0,001



Şekil 12: T1 ve rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

4.4. Rüzgâr Potansiyel İndeksinin Belirlenmesi

Analizleri yapılmış olan 5 ile ait rüzgâr türbini yıllık güc (kWh) değerleri ile K ortalamalar kümeleme yöntemi uygulanmıştır. 5 küme ve bu kümelerin sınırlarını oluşturan rüzgâr potansiyel indeksi aralıkları belirlenmiştir (Tablo 7).

Tablo 7: K ortalamalar kümeleme yöntemi ile belirlenen rüzgâr potansiyel indeksi

Bağımlı Değişken	Rüzgâr Türbini Yıllık Gücü Potansiyel İndeksi Aralığı	Rüzgâr Türbini Yıllık Gücü Potansiyeli
Kurulu Güç (kWh)	< 733,25	Çok Düşük
	733,25-4081,74	Düşük
	4081,74-9876,51	Orta
	9876,51-23984,58	Yüksek
	>23984,58	Çok Yüksek

Aydın ve Manisa illerinde TB1 boyutundaki rüzgâr türbini ile yıllık enerji üretimi 500-550 kWh ile rüzgâr potansiyel indeksi çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Çok düşük olmasına rağmen bu illerde

çevre aydınlatma sistemleri için 6 LED lamba (40W x 6 adet x 6 saat x 365 gün) yıllık enerji tüketimi 525 kWh'ı karşılanabilecek kapasite olmaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzde yeryüzünü daha yaşanabilir hale getirmek ve enerjide dışa bağımlılığı olabildiğince azaltmak amacı ile yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, RES kurulu güç (MW) ve RES toplam alana (km²) bakarak Türkiye'de 81 ilde RES yatırımları yapılacağı zaman ihtiyaç duyulan; bölgenin enerji potansiyelinin tespit edilmesi, uygun panelin seçimi, rüzgâr türbininin seçimi, performans öngörüsü, verimliliğin artırılıp, maliyetlerin azaltılmasına destek sağlayacaktır. Aynı zamanda yapılacak yatırımlar için ilk tahmin edici olarak kullanılabilecek haritalar hazırlanmış ve bazı yöntemler geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle ülkemizin 81 iline ait rüzgâr enerjisi verileri kullanılarak RES yatırım haritaları yapılmıştır. Bu değerler ve K ortalamalar kümeleme yöntemi kullanılarak rüzgâr enerjisi değişkenleri için 5'er küme değeri tanımlanmış, bununla birlikte rüzgâr potansiyel indeksi belirlenmiştir. Elde edilen haritalarda toplam alanda ve toplam rüzgâr kurulu güçte en yüksek olan illerden İzmir, Aydın, Manisa, Balıkesir ve Çanakkale illeri belirlenmiş, sonrasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan bu 5 il'e ait rüzgâr ile ilgili (hızı, nem, sıcaklık ve basınç) günlük ve 10 yıllık verileri doğrultusunda analizler yapılmıştır.

Tasarımı yapılan üç kanatlı helezonik yapılı manyetik alan destekli türbinin 1-25 m/s rüzgâr hızında üretim gücüne göre TB1-TB2-TB3 türbin boyutları için ANOVA analizi yapılmıştır. Analiz sonucuna göre türbin boyutu artarken üretim gücünün de arttığı saptanmıştır. Farklı rüzgâr hızlarında türbin boyutu açısından istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu belirlenmiştir.

Aynı zamanda Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale, Balıkesir ilerinin yıllık bazda türbin boyutlarına göre enerji üretim potansiyeli analiz edilmiş, Aydın ve Manisa illerinde TB1 boyutundaki rüzgâr türbini ile yıllık enerji üretimi rüzgâr potansiyel indeksi çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Çok düşük olmasına rağmen bu illerde çevre aydınlatma sistemleri için 6 led lamba yıllık enerji tüketimi 525 kWh'ı karşılanabilecek kapasite olmaktadır.

Tasarlanan rüzgâr türbininin hedefi sokaklarda kullanılabilmesi için bölgede yaşayan insanlara yararlı olması ve farklı açılardan hayatlarını kolaylaştırmasıdır. Bu sistem sokak lambalarında, tanıtım tabelalarında, parklarda, bahçelerde, trafik lambalarında, karayollarında aydınlatma amacı ile kullanılabilir. Akıllı şehirlerde en iyi türbin seçimi programı vasıtasıyla ise enerji projeleri yatırımlarında yapılan yanlışlıkların (hatalı ölçümler ve hatalı hesaplamalar) önlenmesi niteliğinde bir çalışma olmuştur.

KAYNAKLAR

- Akpınar, E. K., & Akpınar, S. (2004). Statistical analysis of wind energy potential on the basis of the Weibull and Rayleigh distributions for Agin-Elazığ, Turkey. *Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part A: journal of power and energy*, 218(8), 557-565.
- Arslan, O. (2010). Technoeconomic analysis of electricity generation from wind energy in Kutahya, Turkey. *Energy*, 35(1), 120-131.
- Atılğan, M., Altan, B. D., ve Atlıhan, A. B., 2007. Rüzgâr Türbini Uygulamaları.
- Banos, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A., & Gómez, J. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(4), 1753-1766.
- Bingöl, F. (2018). Rüzgâr enerji sistemleri için hava yoğunluğunun hesaplanması. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 273-281.
- Çelikdemir, S., & Özdemir, M. T. (2020). Adilcevaz Bölgesinde Rüzgâr Enerji Potansiyelinin İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 204-214.
- ELİBÜYÜK, U., & ÜÇGÜL, İ. (2014). Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Yekarum*, 2(3).
- Gültekin, U. (2019). Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarının Gelişimi. *Electronic Turkish Studies*, 14(4).
- Hubert, L. (1974). Approximate evaluation techniques for the single-link and complete-link hierarchical clustering procedures. *Journal of the American Statistical Association*, 69(347), 698-704.
- IRENA, 2021. Renewable capacity highlights, 31 March 2021
- Incecik, S., & Erdoğan, F. (1995). An investigation of the wind power potential on the western coast of Anatolia. *Renewable Energy*, 6(7), 863-865..
- Karatepe, S. (2011). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgâr İle Üretilen Enerjinin Ekonomik Değerinin Markov Zinciri İle

- Modellenmesi ve Yalova İlinde Bir Uygulama (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University).
- Kavun, E. Türkiyede rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesine yönelik çalışmaların incelenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Konyalı, İ. (2019). Türkiye için mevcut enerji üretimine alternatif yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının seçimi.
- Faruk, O. R. A. L. Bitlis İlinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(2), 671-678.
- Ozay, C., & Celiktaş, M. S. (2016). Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alaçatı region. Energy Conversion and Management, 121, 49-54.
- Patel, M. R. (1999), Wind and Solar Power System, CRC Press, Washington, 93-98.
- Sarıışık, G., Özdemir, A. ve Alp, H., 2019. Rüzgâr Türbinli ve Güneş Panelli Hibrit Akıllı Çevre Aydınlatma Sistemleri Tasarımı. 3. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, 29 Kasım-1 Aralık, Şanlıurfa,s.161-169.
- Sarıışık, G., Özdemir, A., Kaya, G. ve Alp, H., 2019. Türkiye'de Güneş ve Rüzgar Enerjisi Potansiyeli İndeksinin İstatistiksel Analizle Belirlenmesi. 3. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, 29 Kasım-1 Aralık, Şanlıurfa,s.170-178.
- Simmons, D. M. (1975). Wind power. Park Ridge.
- ŞAHİN, A., 1994. Rüzgar Enerjisi Hesaplamalarında Geliştirilmiş Bir Yöntem, İTÜ, Türkiye.
- Şenel, M. C. (2012). Rüzgar türbinlerinde güç iletim mekanizmalarının tasarım esasları-dinamik davranış (Master's thesis, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Talayoğlu, S. (2010). Denizli İlinin Tavas İlçesine ait Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması ve Ekonomik Analiz (Doctoral dissertation, Enerji Enstitüsü).
- TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK, 2014. WAsP, Help Documents, version 11 edition, (2014).

- TÜREB., 2019. Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliđi. Green Office Kızılırmak Mah. 1443. Cad. No: 22/16 Çukurambar/Ankara.
- Yılmaz, E. (2016). Türkiye Üzerinde 21. Yüzyılda Rüzgar Hızı ve Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İncelenmesi ve Wasp Modeli İle Seçili Bölge İçin Sonuçların Değerlendirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

BÖLÜM 5

FARKLI BATARYA AĞIRLIKLARININ VE BAŞKALAŞIMIN HEXAROTOR SAPMA UÇUŞUNA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KÖSE¹, Prof. Dr. Tuğrul OKTAY²

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Havacılık Yönetimi, Gümüşhane, Türkiye, oguzkose24@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8069-8749

² Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği, Kayseri, Türkiye, tugruloktay52@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4860-2230

1. GİRİŞ

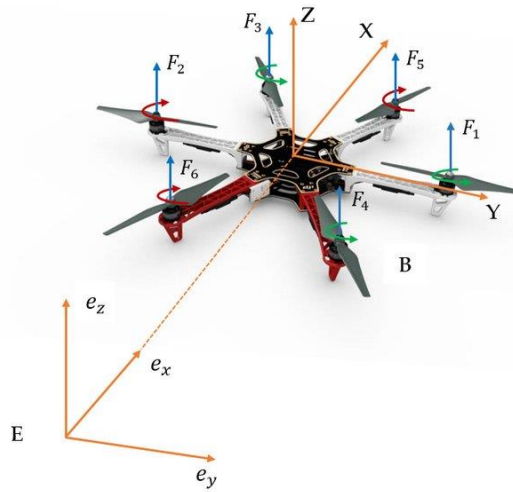
Günümüzde insansız hava araçları (İHA) hem askeri hem de sivil alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İHA'lar tarım, sinema sektörü, fotoğrafçılık, arama ve kurtarma, trafik kontrolü, hava durumu ölçümü, toplumsal olayların havadan izlenmesi, sınır ve kıyı emniyeti ve askeri operasyonlarda sıkça kullanılmaktadır (Walid et al., 2018). Bunun yanında hobi olarak İHA'ların kullanımı son yıllarda hız kazanmıştır. Kullanım amaçlarına göre İHA'ların farklı türleri bulunmaktadır. Genel olarak tercih edilen grup ise döner kanat İHA grubudur. Döner kanat İHA'lar üzerinde bulundukları motor sayısına göre isimlendirilirler. Dört rotorlu olanlar quadrotor, altı rotorlu olanlar hexarotor ve sekiz rotorlu olanlar ise octorotor olarak isimlendirilirler (Dixit et al., 2020). Her İHA grubunun diğerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Hexarotor ile quadrotor kıyaslandığı zaman hexarotor'un daha uzun uçuş süresi verdiği ve daha fazla faydalı yük taşıdığı avantaj olarak görülmektedir. Ancak quadrotor gibi manevra kabiliyetinin yüksek olmaması ise bir dezavantaj olarak göze çarpmaktadır (Schmidt, 2011).

İHA'lara olan ilginin artması ile birlikte araştırmacılarında İHA kontrolü ve uçuşu üzerine yaptığı çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmada hexarotor bir İHA'nın modellenmesi, başkalaşım ile birlikte farklı batarya ağırlıklarının sapma uçuşu üzerine etkisi ele alınmıştır. Hexarotor lineer matematiksel modeli türetilerek İHA hareketinin nasıl gerçekleştiği ortaya konulmuştur. Ardından hexarotor tam modeli ve başkalaşım modelleri gerçeğine uygun olarak Solidworks programında çizilmiştir. Hexarotor kontrol algoritması olarak oransal-integral-türev (PID) denetleyici kullanılmıştır. PID katsayıları sabit tutularak, üç farklı batarya ağırlığı ile dört farklı başkalaşım durumu Matlab/Simulink ortamında simülasyon edilerek batarya ağırlıklarının sapma uçuşu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. HEXAROTOR MODELLENMESİ

Hexarotor altı pervaneyi döndürecek altı rotora ve altı kola sahip olan döner kanat bir İHA'dır. Hexarotor kaldırma kuvveti ve hareketleri pervane kombinasyonu tarafından üretilen itki kuvveti

sağlanır. Hexarotor, quadrotor tipi İHA’larda olduğu gibi X tipi ve + (artı) tip olarak iki farklı konfigürasyona sahip olabilir. Hexarotor 6 serbestlik derecesine sahiptir. Burada 6 serbestlik derecesi her rotor dönüş hızından etkilenir. Hexarotor pozisyon ve yönelimini tanımlamak için dünya sabit eksenleri ve gövde eksenleri olmak üzere iki eksen kullanılır. Dünya sabit eksenleri sabittir hareket etmez. Gövde eksenleri ise hexarotor açısal yönelimini kontrol etmek için kullanılır. Dünya sabit eksenleri ve gövde eksenleri şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Hexarotor model (Nguyen et al., 2019)

Hexarotor tipi İHA’da sabit hatveli pervane kullanılır. Sabit hatveli pervane yapısı ile aşağıda doğru itilen hava bir itki oluşturur. Pervaneler saat yönünde ve saat yönünün tersinde dönerek ve rotor hızlarının artırılıp azaltılması ile hareketlerini gerçekleştirir. Bu hareketlerden ve bu çalışmaya konu olan sapma (ψ) hareketi şekil 1’de gösterilen z ekseninde gerçekleşir.

Hexarotor simetrik ve katı bir yapıya sahiptir. Hexarotor modellemek için öncelikle model dinamiklerinin tanımlanması gerekmektedir. Katı bir gövdenin dinamik modelini tanımlayabilmek için kullanılan en yaygın yöntem Newton Euler yaklaşımıdır (Fogelberg, 2013). Bu çalışmada hexarotor sapma uçuşu için lineer hareket denklemlerinden faydalanılmıştır. Hexarotor sapma uçuşu

dışında diğer uçuş durumlarına ait lineer hareket denklemleri aşağıda gösterildiği gibidir. Sapma uçuşu için lineer \ddot{z} ile, dönel pozisyon ise $\ddot{\psi}$ ile gösterilmiştir.

$$\ddot{x} = g\theta \quad (1)$$

$$\ddot{y} = -g\phi \quad (2)$$

$$\ddot{z} = -g + \frac{U_1}{m} \quad (3)$$

$$\ddot{\phi} = \frac{U_2}{I_x} \quad (4)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{U_3}{I_y} \quad (5)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{U_4}{I_z} \quad (6)$$

Burada, $X = [x \ y \ z]$ and $\eta = [\phi \ \theta \ \psi]$ denklemleri sırası ile lineer pozisyon ve dönel pozisyon vektörlerini ifade eder. m hexarotor kütlesi, I_x , I_y and I_z eksenler üzerinde oluşan atalet momentleri, U_1 , U_2 , U_3 , U_4 kontrol girişlerini ifade eder. Sapma uçuşunda, U_4 kontrol girişi için kullanılır. Buna göre sapma uçuşu için kontrol girişi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$U_4 = d(-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_5^2 + \omega_6^2) \quad (7)$$

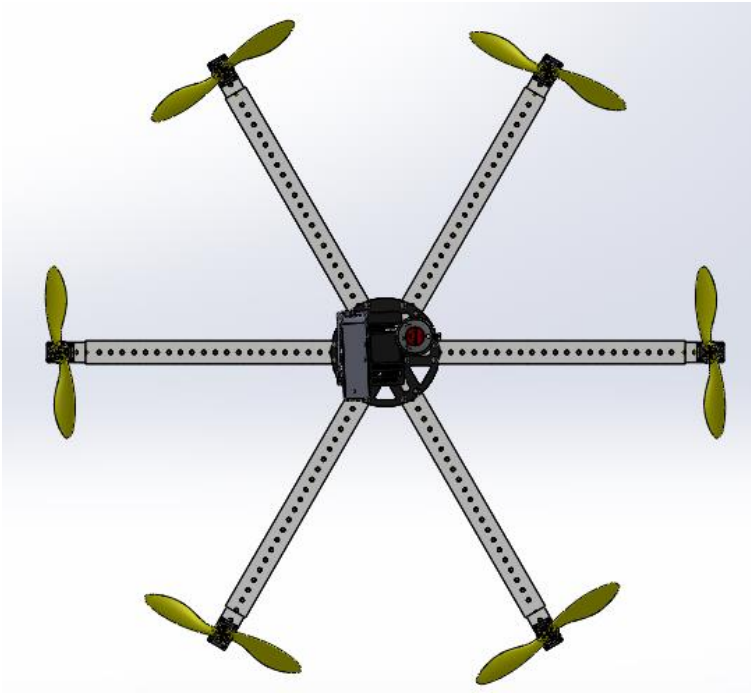
Burada, d sürüklenme katsayısını, ω_i^2 ise her rotor için açısal hızı ifade eder.

3. HEXAROTOR BAŞKALAŞIM VE BATARYA AĞIRLIKLARININ ETKİSİ

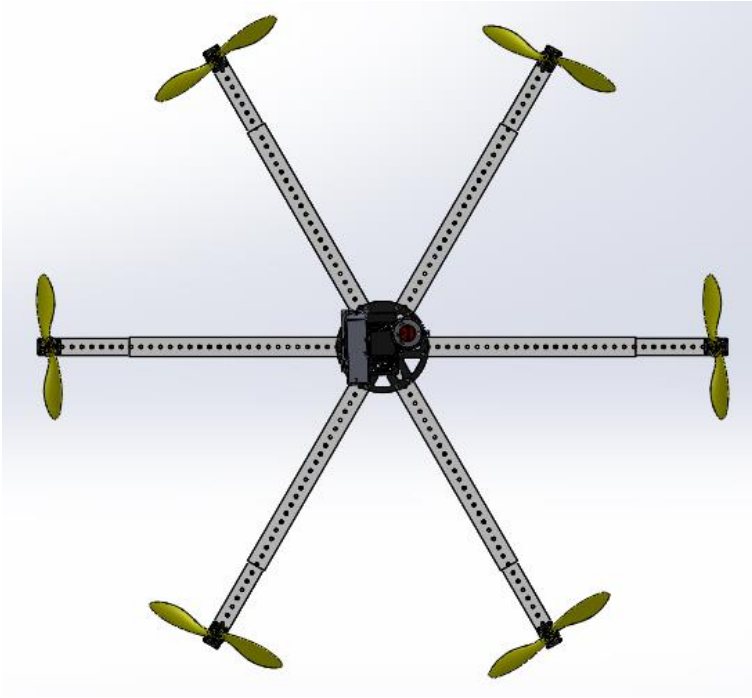
İHA'larda başkalaşım özelliğinin eklenmesinin genel olarak amacı uçuşun farklı aşamalarında İHA'nın performansında artış sağlamak ve uçuş durumundaki koşullara İHA'nın adapte olmasını sağlamaktır. Performans parametreleri olan maksimum hız, yakıt

tüketimi, manevra kabiliyeti, faydalı yük taşıma, menzil ve stabilite başkalaşım ile geliştirilmesi mümkün olan değerlerdir (Gamboa et al., 2007). Bu parametrelerin birinin ya da birkaçının iyileştirilmesi İHA'nın uçuş verimliliğini artıracak ve daha geniş uçuş görevlerinde kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

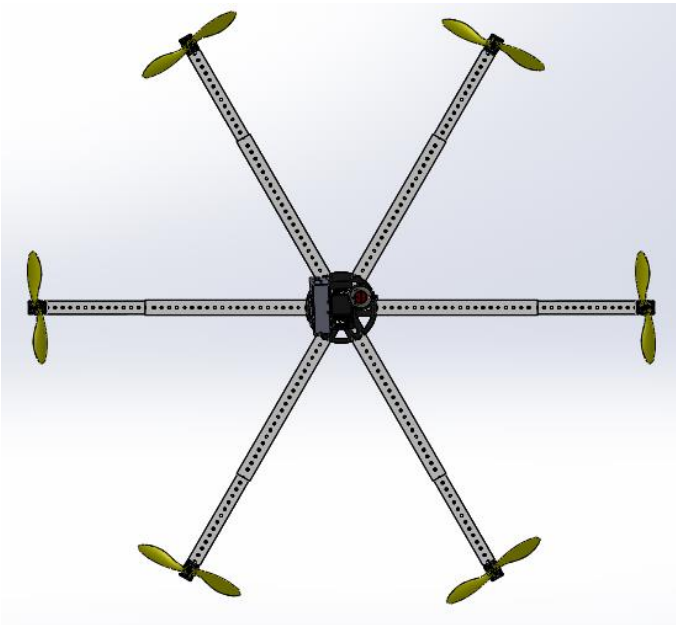
Hexarotor'da başkalaşım değişen kol uzunlukları ile gerçekleştirilmiştir. Başkalaşımında kol uzatılarak ya da kısaltılarak gerçekleştirilir. Başlangıç durumunda hexarotor uçuşuna 37 cm kol uzunluğu ile başlar. Başkalaşım durumlarında kol uzunlukları sırası ile 46 cm, 55 cm ve 65 cm değerlerini alır. Şekil 2'de başlangıç durumu ve başkalaşım durumları gösterilmiştir.



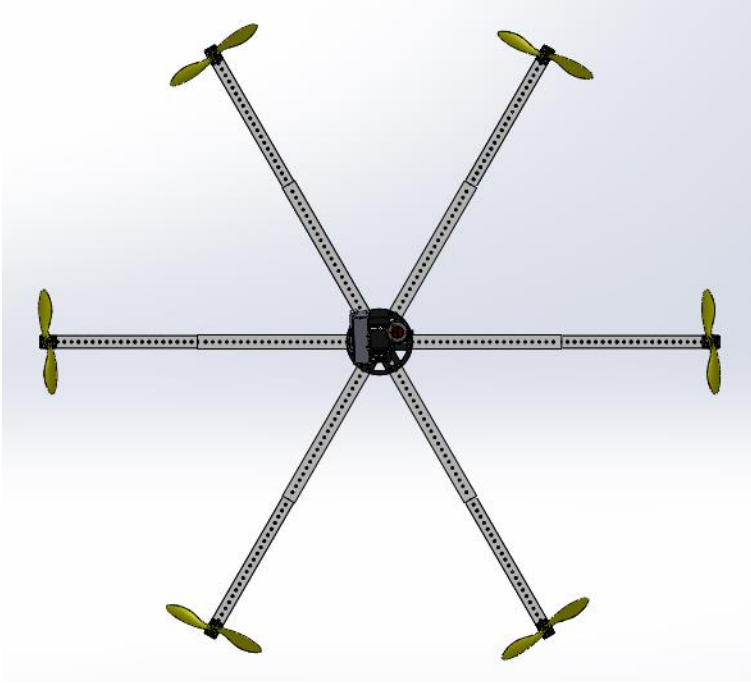
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2. (a) 37 cm başlangıç durumu, (b) 46 cm başkalaşım, (c) 55 cm başkalaşım, (d) 65 cm başkalaşım (Oktay and Kose, 2022)

Uçuş sırasında başkalaşım ile birlikte hexarotor üzerinde kullanılan bataryalarda uçuş üzerinde etkisini gösterir (Kose and Oktay, 2022). Bataryalar ağırlık ve boyutlarına göre uçuş üzerinde etkili olabilirler. Bu çalışmada boyut olarak aynı ancak ağırlık olarak farklı bataryalar kullanılmıştır. Bataryalar hücre sayılarına göre ağırlıkları değişmektedir. Bu çalışmada 3S, 4S ve 6S bataryalar kullanılmıştır. Bu bataryaların tercih sebebi ise kolay erişilebilir bataryalar olmasıdır. Bataryaların ağırlıkları ise sırası ile 188 gr, 218 gr ve 475 gr'dır. Başlangıç durumundan sonra başkalaşım durumlarında kolların en uç noktalarının dönme eksenine uzaklıkları değiştiği için hexarotor atalet momentleri üzerinde de değişiklikler olacaktır (Oktay and Coban, 2017). Bu değişiklikler her başkalaşım ve batarya için ayrı ayrı Solidworks programında gerçeğine uygun olarak çizilmiştir. Batarya ağırlıklarına göre atalet momentleri ve hexarotor ağırlıkları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 1. 188 gr batarya ağırlığı ve başkalaşım atalet momentleri

Durum	Kol uzunluğu(cm)	Hexarotor kütlesi(kg)	Batarya ağırlığı(gr)	$I_x(kg * m^2)$	$I_y(kg * m^2)$	$I_z(kg * m^2)$
1	37	3,18	188	2,81	2,83	0,22
2	46	3,18	188	2,86	2,86	0,3
3	55	3,18	188	2,93	2,93	0,43
4	65	3,18	188	3,03	3,03	0,63

Tablo 2. 218 gr batarya ağırlığı ve başkalaşım atalet momentleri

Durum	Kol uzunluğu(cm)	Hexarotor kütlesi(kg)	Batarya ağırlığı(gr)	$I_x(kg * m^2)$	$I_y(kg * m^2)$	$I_z(kg * m^2)$
1	37	3,218	218	2,82	2,84	0,22
2	46	3,218	218	2,88	2,87	0,3
3	55	3,218	218	2,94	2,94	0,43
4	65	3,218	218	3,04	3,04	0,63

Tablo 3. 475 gr batarya ağırlığı ve başkalaşım atalet momentleri

Durum	Kol uzunluğu(cm)	Hexarotor kütlesi(kg)	Batarya ağırlığı(gr)	$I_x(kg * m^2)$	$I_y(kg * m^2)$	$I_z(kg * m^2)$
1	37	3,475	475	2,93	2,95	0,22
2	46	3,475	475	2,98	2,98	0,3
3	55	3,475	475	3,05	3,05	0,43
4	65	3,475	475	3,15	3,15	0,63

4. HEXAROTOR KONTROL ALGORİTMASI

Hexarotor kontrolü için oransal integral türev denetleyici olan PID algoritması kullanılmıştır. PID kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir kontrol algoritmasıdır (Li and Li, 2011). PID kontrolör geri beslemeli kapalı döngü sistemi olarak da bilinir. Kontrol sistemi, sistemin çıkış değeri ile istenen değer arasındaki farkı alarak bir hata değeri üretir. PID kontrolör çıkışı sistemi istenilen değere yaklaştıran bir değerdir. PID kontrolör kullanılarak hexarotor ve diğer İHA türleri havada istenilen şekilde hareket ettirmek mümkündür. PID kontrolör sisteme uyarlanması ve kazanç değerlerinin ayarlanması bakımından avantajlı olsa da lineer olmayan sistemlere uygulanamaması ise kısıtlama olarak karşımıza çıkmaktadır (Putra et al., 2019). PID

kontrolör tarafından sapma uçuşu kontrol edilen hexarotor'un PID matematiksel modeli aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$u_{\psi}(t) = K_{p_{\psi}} e(t) + K_{i_{\psi}} \int_0^t e(t) dt + K_{d_{\psi}} \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

$u_{\psi}(t)$ kontrol girişini, $K_{p_{\psi}}$ oransal kontrol kazancı, $K_{i_{\psi}}$ integral kontrol kazancı ve $K_{d_{\psi}}$ türevsel kontrol kazancını ifade etmektedir.

Kontrol kazançları PID kontrolörün performansını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Kazanç parametreleri İHA'nın durumuna göre değişme eğiliminde olan parametrelerdir. Kazanç parametreleri Ziegler-Nichols metodu gibi yöntemler kullanılarak sisteme göre elde edilmesi mümkündür. Ancak bu çalışmada PID katsayıları her başkalaşım ve batarya ağırlığı için sabit tutulmuştur. Kazanç parametreleri ise geçmiş deneyimlerden faydalanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan PID kazanç katsayıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4. PID kazanç katsayıları

$K_{p_{\psi}}$	$K_{i_{\psi}}$	$K_{d_{\psi}}$
50	10	10

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada başkalaşım durumu ve farklı batarya ağırlığının hexarotor sapma uçuşu üzerine etkisi incelenmiştir. Başlangıç durumu ve üç farklı başkalaşım durumu ile birlikte üç farklı batarya ağırlığı kullanılmıştır. Bataryalar İHA'larda en çok kullanılan 3S, 4S ve 6S olan bataryalardan farklı ağırlıklarda seçilmiştir. Hexarotor tam modeli, başkalaşım modelleri ve bataryalar Solidworks programında gerçeğine uygun olarak birebir çizilmiştir. Başlangıç durumunda hexarotor kol uzunluğu 37 cm ile uçuşuna başlamıştır. Ardından kollar uzunlukları sırası ile 46 cm, 55 cm ve 65 cm değerlerine getirilmiştir. Hexarotor

modellemesi için Newton-Euler yaklaşımından faydalanılarak lineer model oluşturulmuştur. Lineer model Matlab/Simulink ortamında simüasyonlar yapılmıştır.

Hexarotor başkalaşım ile birlikte kol uzunluklarının hexarotor dönme noktasına olan uzaklıkları değiştiği için atalet momentleri üzerinde etkisi olmuştur. Atalet momentleri ise hareket denklemlerinde sisteme doğrudan etki ettiği görülmektedir. Atalet momentleri çeşitli yöntemler ile matematiksel olarak hesaplanması mümkündür. Ancak hexarotor üzerinde bulunan her parçanın atalet momentinin hesaplanması ve hepsinin toplanarak atalet momentinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu yöntem her parça için yapılması gerektiği için hatalara sebebiyet vermesi göz önünde bulundurularak Solidworks programında çizilen ve gerçeği ile birebir aynı olan modellerden atalet momentleri program vasıtası ile elde edilmiştir. Ayrıca başkalaşım durumlarında atalet momentleri değişirken hexarotor kütlesi sabit kalmaktadır.

Tasarım performans kriterleri olarak adlandırılan yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşım gibi değerler hexarotor sapma uçuşunda başkalaşım ve batarya ağırlığının belirlemesi aşamasında dikkate alınan değerlerdir. Hexarotor $\pi/2^\circ$ bir yörüngeyi 2 saniye boyunca takip etmesi istenmiştir. Hexarotor verilen yörüngeyi her başkalaşım durumu ve farklı batarya ağırlığı için başarılı bir şekilde takip etmiştir. Ayrıca benzer çalışmalarda istenen yörünge 10 saniye boyunca takip edilirken bu çalışmada, çalışma zamanı beşte bir oranına düşürülerek hexarotor'un daha hızlı yörüngeye oturması sağlanmıştır. Ayrıca her başkalaşım durumu ve farklı batarya ağırlığında PID katsayıları sabit tutulmuştur. Aşağıdaki tablolarda başkalaşım ve farklı batarya ağırlıklarına göre tasarım performans kriterleri ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 5. 188 gr batarya için tasarım performans kriterleri

Kol uzunluğu(cm)	Yükselme Zamanı(saniye)	Yerleşme Zamanı(saniye)	Aşım(%)
37	0.0284	0.369	13.5
46	0.0374	0.437	12.7
55	0.0518	0.512	14.3
65	0.0726	0.584	17.6

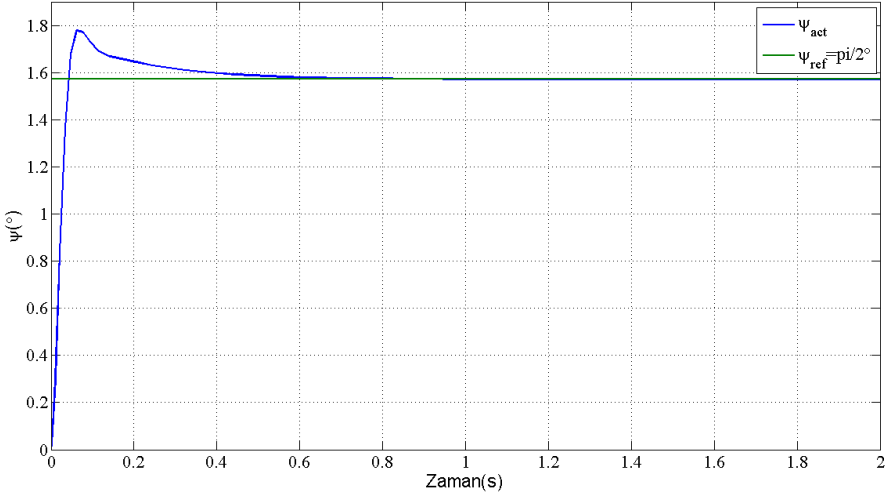
Tablo 6. 218 gr batarya için tasarım performans kriterleri

Kol uzunluğu(cm)	Yükselme Zamanı(saniye)	Yerleşme Zamanı(saniye)	Aşım(%)
37	0.0284	0.369	13.5
46	0.0374	0.437	12.7
55	0.0518	0.512	14.3
65	0.0726	0.584	17.6

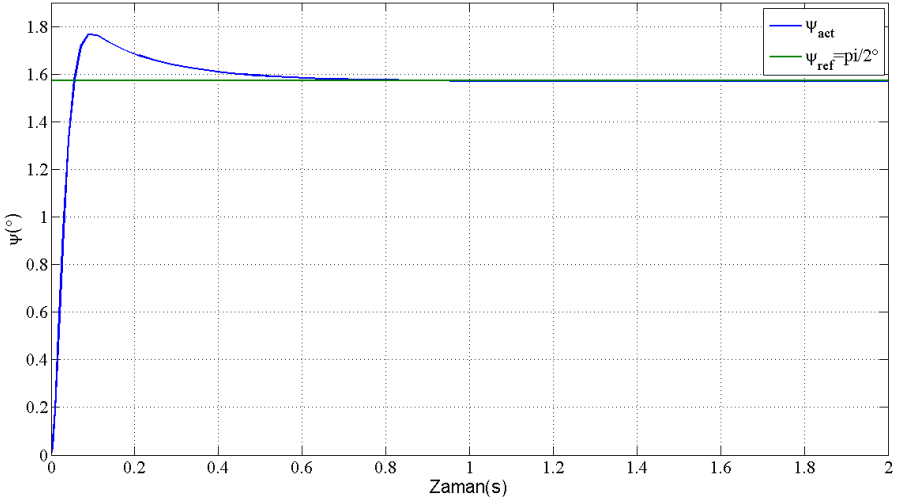
Tablo 7. 475 gr batarya için tasarım performans kriterleri

Kol uzunluğu(cm)	Yükselme Zamanı(saniye)	Yerleşme Zamanı(saniye)	Aşım(%)
37	0.0284	0.369	13.5
46	0.0374	0.437	12.7
55	0.0518	0.512	14.3
65	0.0726	0.584	17.6

Tasarım performans kriterleri incelendiğinde her başkalaşım ve farklı batarya ağırlıkları için yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşım değerlerinde herhangi bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Bunun anlamı ise sapma uçuşu için batarya ağırlığının bir etkisi olmadığı olarak söylenmesi mümkündür. Bunun sebebi ise her başkalaşım durumlarında aynı PID katsayılarının kullanılmasıdır. Bunu hexarotor sapma uçuşu simülasyon grafiklerinde de görmek mümkündür. Aşağıdaki grafiklerde sapma uçuşu için 37 ve 46 cm kol uzunluğu ve farklı batarya ağırlıklarına ait simülasyon çıktıları gösterilmiştir.

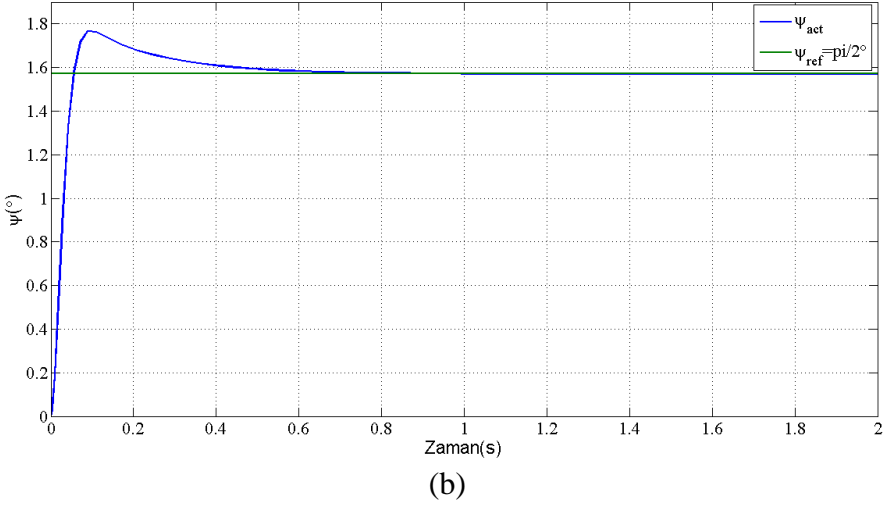
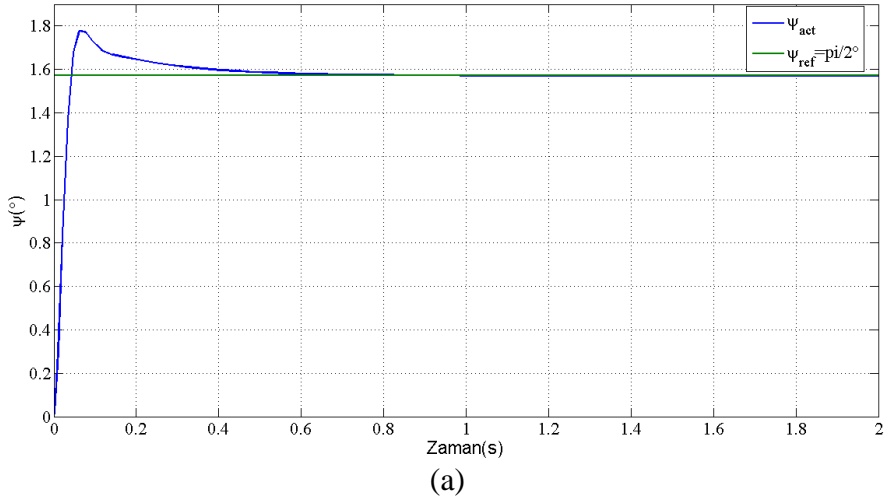


(a)

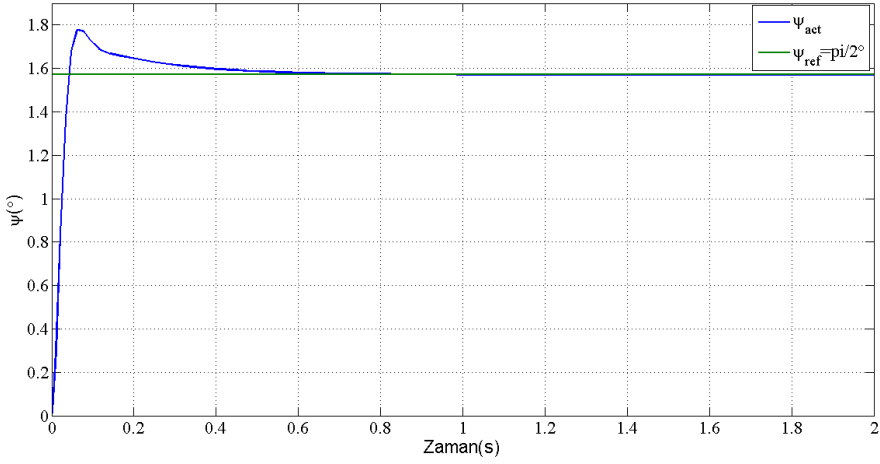


(b)

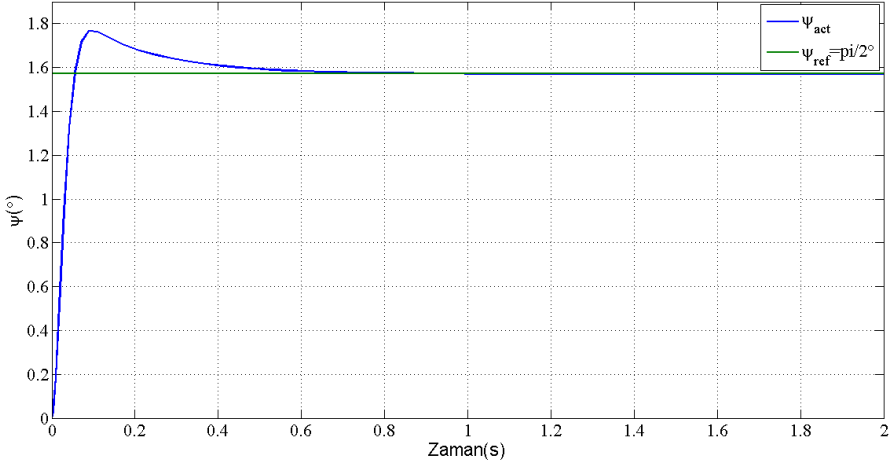
Şekil 3. 188 gr batarya için (a) 37 cm kol uzunluğu, (b) 46 cm kol uzunluğu simülasyon çıktısı



Şekil 4. 218 gr batarya için (a) 37 cm kol uzunluğu, (b) 46 cm kol uzunluğu simülasyon çıktısı



(a)



(b)

Şekil 5. 475 gr batarya için (a) 37 cm kol uzunluğu, (b) 46 cm kol uzunluğu simülasyon çıktısı

Gelecek çalışmalarda optimizasyon yöntemleri kullanılarak en uygun kol uzunluğu ve batarya ağırlıkları tahmini yapılarak hexarotor ve diğer İHA grupları için daha stabil ve kararlı uçuşların yapılması hedeflenmektedir. Bununla birlikte simülasyon çalışma süresinin daha da aşağıya indirilmesi ve tasarım performans kriterlerinin minimum değerler çekilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Dixit, A., Misra, A., & Talole, S. E. (2020). UDE based Sliding Mode Control for Octocopter. *2020 1st IEEE International Conference on Measurement, Instrumentation, Control and Automation, ICMICA 2020*, 0–5. doi: 10.1109/ICMICA48462.2020.9242899
- Fogelberg, J. (2013). Navigation and Autonomous Control of a Hexacopter in Indoor Environments. *MSC Thesis*, 1–75.
- Gamboa, P., Aleixo, P., Vale, J., & Lau, F. (n.d.). *Design and Testing of a Morphing Wing for an Experimental UAV*. 2007.
- Kose, O., & Oktay, T. (2022). Hexarotor Yaw Flight Control with SPSA , PID Algorithm and Morphing. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 10(2), 216–221. doi: 10.1039/b000000x
- Li, J., & Li, Y. (2011). Dynamic analysis and PID control for a quadrotor. *2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 573–578.
- Nguyen, N. P., Mung, N. X., & Hong, S. K. (2019). Actuator fault detection and fault-tolerant control for hexacopter. *Sensors (Switzerland)*, 19(21). doi: 10.3390/s19214721
- Oktay, T., & Coban, S. (2017). Simultaneous longitudinal and lateral flight control systems design for both passive and active morphing TUAVs. *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 23(5), 15–20. doi: 10.5755/j01.eie.23.5.19238
- Putra, N. P., Maulany, G. J., Manggau, F. X., & Betaubun, P. (2019). Attitude quadrotor control system with optimization of PID parameters based on fast genetic algorithm. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(1), 335–343.
- Schmidt, M. D. (2011). *Simulation and Control of a Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle*.
- T. Oktay and O. Kose. (2022). Effect of Morphing and Battery Weight on Hexarotor Lateral Flight. *Ankara vi. Uluslararası Bilimsel araştırmalar Kongresi*.
- Walid, M., Slaheddine, N., Mohamed, A., & Lamjed, B. (2018). Modelling, identification and control of a quadrotor UAV. *2018 15th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2018, October*, 1017–1022. doi: 10.1109/SSD.2018.8570512

BÖLÜM 6

YENİ BAŞLAYANLAR İÇİN OPENFOAM® KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ İKİNCİOĞULLARI¹

¹ Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, erdincikinciogullari@gmail.com, 0000-0003-2518-980X

GİRİŞ

OpenFOAM, ücretsiz ve açık kaynak kodlu olarak kullanılabilen bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımıdır. Hemen hemen her mühendislik ve araştırma alanında hem ticari hem de akademik kurumlardan geniş bir kullanıcı kitlesine sahiptir. OpenFOAM; kimyasal süreçler, türbülans ve ısı aktarımının yanı sıra akustik, katı mekanik ve elektromanyetik gibi çok çeşitli sorunları çözmek için kullanılacak yetenekler içerir (<https://www.openfoam.com/2022-03-08>).

Ticari HAD yazılımlarındaki lisans ücretlerinin kanayan bir yara haline geldiği günümüzde, Ülkemizdeki araştırmacılara az da olsa bir katkı sağlaması amacıyla hazırlanan bu çalışmada, OpenFOAM için başlangıç düzeyde bilgiler aktarılmaya çalışılmıştır. Yazılım içerisindeki her bir dosyanın hangi amaçla ve nasıl çalıştığı hakkındaki bilgiler paylaşılmıştır.

1. UBUNTU VE OPENFOAM YAZILIMININ KURULUMU

OpenFOAM, C++ programlama dilini kullanmaktadır. Birçok işletim sistemi üzerine kurulabilmesine rağmen genellikle Linux sürümü olan Ubuntu önerilmektedir. Ubuntu (https://wiki.ubuntu-tr.net/index.php?title=ubuntu_linux_kurulum_rehberi, 2022-07-03)² yüklendikten sonra terminal ekranına gerekli kodlar yazılarak OpenFOAM kurulumu yapılabilmektedir (<https://openfoamwiki.net/index.php/installation/linux/openfoam-7/ubuntu/18.04>, 2022-05-14)³. Bir bilgisayar üzerinden iki farklı işletim sistemi kullanmak mümkündür. Ancak oluşabilecek sistemsel problemlerden dolayı tavsiye edilmemektedir.

2. OPENFOAM'DA ÇÖZÜCÜ SEÇİMİ

OpenFOAM'da yeni bir model oluşturmak için izlenebilecek en kolay yol, yazılım içerisinde bulunan *tutorials* klasörü altındaki örnek tasarımlar üzerinden ilerlemektir. *tutorials* klasörü altında farklı fiziksel durumlara göre oluşturulmuş çözücüler mevcuttur. Yürütülecek sayısal çalışmanın doğruluğunu arttırmak için deneysel modele uygun çözücüyü kullanmak oldukça önemli bir adımdır. Bu çalışmada, açık kanal üzerindeki kalın kenarlı savak tasarımı anlatıldığından *multiphase* içerisindeki *interFoam* çözücüsünün *weirOverflow* örneği baz alınmıştır. Sabit yoğunluğa sahip bir akışkan için kullanılan momentum denklemi Eşitlik (1)'de verilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{tij}) + \rho g_i + f_{\sigma i} \quad (1)$$

Burada; u hızı, p basıncı τ_{ij} ve τ_{tij} viskoz ve türbülans gerilmelerini ve $f_{\sigma i}$ ise yüzey gerilmelerini ifade etmektedir. Yoğunluk (ρ) ise Eşitlik (2)'de verildiği şekilde tanımlanmaktadır.

$$\rho = \alpha \rho_1 + (1 - \alpha) \rho_2 \quad (2)$$

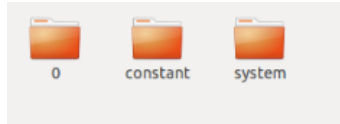
² Ubuntu 18.04 kurulumu için verilen kaynağı inceleyiniz.

³ OpenFOAM v7 kurulumu için verilen kaynağı inceleyiniz.

Buradaki α değeri çok fazlı akımlar için 0-1 aralığında değişmektedir (<https://openfoamwiki.net/index.php/interfoam>, 2022-03-08).

3. OPENFOAM İÇERİSİNDEKİ ANALİZ KLASÖRÜNÜN İNCELENMESİ

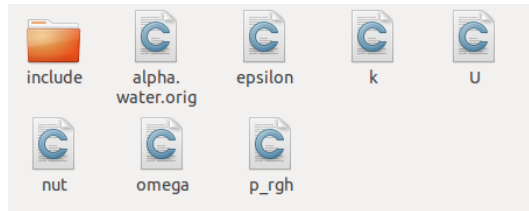
Genel olarak, bir analiz dosyası içerisinde *0*, *constant* ve *system* olmak üzere üç adet klasör bulunmaktadır (Şekil 1). Bu alt klasörlerin içerikleri, kullanılan çözücüye, dolayısı ile akım şartlarına göre farklılık gösterebilmektedir.



Şekil 1. Analiz Klasörü İçerisindeki Klasörler

3.1. 0 Klasörü

Akımın hız, basınç ve türbülans gibi özellikleri için başlangıç koşullarının belirlendiği klasördür (Şekil 2). Her bir değişkenin başlangıç değerleri ve sınır şartları, bu klasör içerisinde belirlenmektedir. *include* klasörü; *weirOverFlow tutorial*'i içerisinde hazır olan bir klasördür. Bu klasörün kullanımı ile *debi*, *k* ve *epsilon* gibi parametrelerin başlangıç koşullarının belirlenmesinde kolaylık sağlanmıştır. Yani *include* klasörü, programın çalışması için gerekli olmamakla beraber bu klasör olmazsa her bir değişkenin değeri, kendi dosyası içerisinde tanımlanmalıdır. Örnek olması için *omega* değeri kendi dosyası içerisinde tanımlanmıştır.



Şekil 2. 0 Klasörü İçerisindeki Dosyalar

Türbülans kinetik enerji (*k*), *epsilon* ve *omega* için başlangıç değerleri Eşitlik (3, 4 ve 5) yardımıyla hesaplanmıştır (https://www.cfd-online.com/wiki/turbulence_free-stream_boundary_conditions, 2022-

06-10). Bu değerler, tahmini olarak belirlenmekte olup iterasyonlar boyunca hata oranı azalmaktadır. Ancak bu değerler ilk adımda olması gerektiğinden çok uzak olarak tanımlanırsa belli bir süre simülasyon artık değerleri (*residuals*) arttığından simülasyon hata vererek durmaktadır. Bu noktada, çözüm dosyasını (*out*) adım adım takip ederek çalışmanın hangi parametrede hata verdiğini tespit etmek faydalı olmaktadır. OpenFOAM, seçilen türbülans yöntemini (*constant* klasörü içerisinde anlatılacak) dikkate aldığından analiz klasörü içerisinde *epsilon* ve *omega* dosyalarının birlikte olması problem teşkil etmemektedir. Dolayısı ile analiz klasörü içerisinde analiz için gerekli olmayan herhangi bir dosyanın olması durumunda yazılım hata vermeden çalışırken gerekli bir dosyanın olmaması durumunda ya da herhangi bir eksik ifadenin olması durumunda (eksik/fazla parantez gibi) program çözüme başlamadan hata vermektedir.

$$k = \frac{3}{2}(U \cdot I)^2 \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{C_\mu^{0.75} \cdot k^{1.5}}{L} \quad (4)$$

$$\omega = \frac{k^{0.5}}{C_\mu^{0.25} \cdot L} \quad (5)$$

Burada; U , referans alınacak ortalama bir hız değerini (m/s); I , türbülans yoğunluğunu (% 0.05); C_μ model sabiti katsayısını (0.09) ve L ise türbülans uzunluk ölçeğini (m) ifade etmektedir (https://www.cfd-online.com/wiki/turbulence_free-stream_boundary_conditions, 2022-06-10).

Hız (U) için başlangıç koşullarının ve sınır şartlarının belirlendiği dosya incelendiğinde, ilk satırdaki *#include* ile başlayan ifade ile yukarıda bahsedilen *include* dosyası çalıştırılmaktadır (Şekil 3). Eğer *include* dosyası içerisinde ilgili parametrenin değeri tanımlanmışsa tekrar burada belirtmeye gerek kalmamaktadır. Bir alt satırdaki *dimensions* ifadesi, değişkenin birimini ifade etmektedir. Parantez

içerisindeki değerler yedi temel birimi (kilogram, metre, saniye, kelvin, mol, amper, kandela) ifade etmektedir (Greenshields, 2019). Örneğin bu dosya için [0 1 -1 0 0 0 0] şeklinde yazılan ifade; hız değerinin biriminin m/s olduğunu ifade etmektedir. *internalField* satırına uniform değer yazılır. *BoundaryField* alanına ise sınır şartları yazılmalıdır⁴. Hız için inlet sınır şartında debiye göre akım yüksekliğini belirleyen *variableHeightFlowRateInletVelocity* sınır şartı kullanılarak debi için *include* dosyasındaki değere yönlendirme yapılmıştır (*\$inletFlowRate*). *outlet* için değişimin sıfır olduğu *zeroGradient* sınır koşulu tanımlanmıştır. Taban için duvar koşulu olan *noSlip* sınır koşulu tanımlanırken *atmosphere* kısmına *pressureInletOutletVelocity* sınır koşullu tanımlanmıştır. Son bölümdeki “.*” ifadesi, tanımlanmayan diğer bütün bölgeler için tanımlanacak sınır şartını ifade etmektedir. Yani bu sayfada tanımlanmayan yan duvarların hepsi *noSlip* sınır şartı kullanılarak tanımlanmıştır.

```
#include      "include/initialConditions"
dimensions    [0 1 -1 0 0 0 0];
internalField uniform (0 0 0);
boundaryField
{
    inlet
    {
        type            variableHeightFlowRateInletVelocity;
        flowRate        $inletFlowRate;
        alpha            alpha.water;
        value            uniform (0 0 0);
    }

    outlet
    {
        type            zeroGradient;
    }

    lowerWall
    {
        type            noSlip;
    }

    atmosphere
    {
        type            pressureInletOutletVelocity;
        value            uniform (0 0 0);
    }

    ".*"
    {
        type            noSlip;
    }
}
```

Şekil 3. U Dosyasının İçeriği

⁴ Geçerli sınır şartları için lütfen kullanıcı kılavuzunu (Greenshields, 2019) inceleyiniz.

Başlangıç anında, çözüm alanı içerisinde bir akışkan hacminin belirlenmesi için kullanılan *alpha.water.orig* dosyası, türbülans kinetik enerji (*k*), *epsilon*, *omega*, türbülans viskozitesi (*nut*), dinamik basınç (*p_rgh*) dosyalarının başlangıç ve sınır koşullarının tanımlandığı dosyalar aşağıda sırası ile Şekil 4(a, b, c, d, e ve f)’de verilmiştir.

```
#include "include/initialConditions"
dimensions [0 0 0 0 0 0];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
    inlet
    {
        type            variableHeightFlowRate;
        lowerBound      0;
        upperBound      1;
        value            uniform 0;
    }

    outlet
    {
        type            zeroGradient;
    }

    lowerWall
    {
        type            zeroGradient;
    }

    atmosphere
    {
        type            inletOutlet;
        inletValue      uniform 0;
        value            uniform 0;
    }

    "*"
    {
        type            zeroGradient;
    }
}
```

(a)

```
#include "include/initialConditions"
dimensions [0 2 -2 0 0 0];
internalField uniform $turbulentKE;
boundaryField
{
    inlet
    {
        type            fixedValue;
        value            $internalField;
    }

    outlet
    {
        type            inletOutlet;
        inletValue      $internalField;
        value            $internalField;
    }

    lowerWall
    {
        type            kqRWallFunction;
        value            $internalField;
    }

    atmosphere
    {
        type            inletOutlet;
        inletValue      $internalField;
        value            $internalField;
    }

    "*"
    {
        type            kqRWallFunction;
        value            $internalField;
    }
}
```

(b)

```

#include      "include/initialConditions"
dimensions  [0 2 -3 0 0 0 0];
internalField  uniform $turbulentEpsilon;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type      fixedValue;
    value     $internalField;
  }
  outlet
  {
    type      inletOutlet;
    inletValue $internalField;
    value     $internalField;
  }
  lowerWall
  {
    type      epsilonWallFunction;
    value     $internalField;
  }
  atmosphere
  {
    type      inletOutlet;
    inletValue $internalField;
    value     $internalField;
  }
  ".*"
  {
    type      epsilonWallFunction;
    value     $internalField;
  }
}

```

(c)

```

dimensions  [0 2 -1 0 0 0 0];
internalField  uniform 0;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type      calculated;
    value     uniform 0;
  }
  outlet
  {
    type      calculated;
    value     uniform 0;
  }
  lowerWall
  {
    type      nutkWallFunction;
    value     uniform 0;
  }
  atmosphere
  {
    type      calculated;
    value     uniform 0;
  }
  ".*"
  {
    type      nutkWallFunction;
    value     uniform 0;
  }
}

```

(d)

```

dimensions  [0 0 -1 0 0 0 0];
internalField  uniform 0.05155;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type      fixedValue;
    value     $internalField;
  }
  outlet
  {
    type      inletOutlet;
    inletValue $internalField;
    value     $internalField;
  }
  atmosphere
  {
    type      inletOutlet;
    inletValue $internalField;
    value     $internalField;
  }
  ".*"
  {
    type      omegaWallFunction;
    value     $internalField;
  }
}

```

(e)

```

#include      "include/initialConditions"
dimensions  [1 -1 -2 0 0 0 0];
internalField  uniform $pressure;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type      zeroGradient;
  }
  outlet
  {
    type      zeroGradient;
  }
  lowerWall
  {
    type      fixedFluxPressure;
  }
  atmosphere
  {
    type      totalPressure;
    p0       uniform 0;
  }
  ".*"
  {
    type      fixedFluxPressure;
  }
}

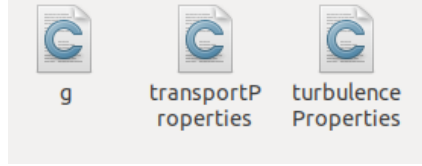
```

(f)

Şekil 4. a) *alpha.water* Dosyasının İçeriği; **b)** *k* Dosyasının İçeriği; **c)** *epsilon* Dosyasının İçeriği; **d)** *nut* Dosyasının İçeriği; **e)** *omega* Dosyasının İçeriği ve **f)** *p_rgh* Dosyasının İçeriği

3.2. *constant* Klasörü

constant klasörü, simülasyonda kullanılacak akışkanın fiziksel özelliklerinin, türbülans özelliklerinin ve yerçekimi ivmesi gibi sabit büyüklüklerin belirlendiği klasördür (Şekil 5).



Şekil 5. *constant* Klasörünün İçeriği

Model üzerinde yerçekimi etkilerinin tanımlanabilmesi için *g* dosyası kullanılmaktadır. Dosya içeriğinde yerçekimi ivmesinin boyutunu (m/s^2) ve yönünü gösteren iki satır mevcuttur. Oluşturulan modele göre hangi eksene yerçekimi ivmesi tanımlanmak isteniyorsa bu dosya içerisinde belirlemek mümkündür (Şekil 6).

```
dimensions      [0 1 -2 0 0 0 0];  
value           (0 -9.81 0);
```

Şekil 6. *g* Dosyasının İçeriği

Simülasyonda kullanılan akışkanlara ait fiziksel özellikler *transportProperties* dosyası içerisinde tanımlanır. Çalışma kapsamında kullanılan çözücü (*interFoam*) iki fazlı çözüm yaptığından bu dosya içerisinde su ve hava için fiziksel özellikler tanımlanmıştır. Son satırdaki *sigma* değeri ise iki faz arasındaki yüzeysel gerilme değerini (N/m) ifade etmektedir (Şekil 7).

```

phases (water air);

water
{
    transportModel  Newtonian;
    nu              1e-06;
    rho            1000;
}

air
{
    transportModel  Newtonian;
    nu              1.48e-05;
    rho            1;
}

sigma            0.07;

```

Şekil 7. *transportProperties* Dosyasının İçeriği

Türbülanslı akımlarda kullanılan türbülans modeli, *turbulenceProperties* dosyası içerisinde tanımlanmaktadır (Şekil 8). *simulationType* satırına kullanılacak türbülans modeli yazılır (*RAS*, *DES* veya *LES*). Alt bölümde ise türbülans modelin özellikleri tanımlanır. Türbülanslı akımın aktif olması için ve türbülans katsayılarının çözüm dosyasına yazılması için *turbulence* ve *printCoeffs* satırları aktif hale getirilmelidir. Akımın laminer olması durumunda ise türbülans dosyasına gerek kalmayacaktır.

```

simulationType  RAS;

RAS
{
    RASModel      kOmegaSST;

    turbulence    on;

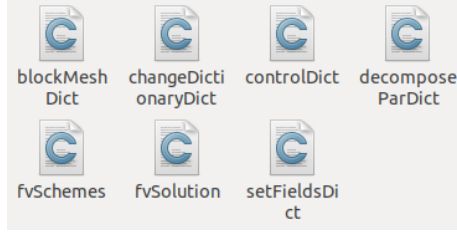
    printCoeffs  on;
}

```

Şekil 8. *turbulenceProperties* Dosyasının İçeriği

3.3. *system* Klasörü

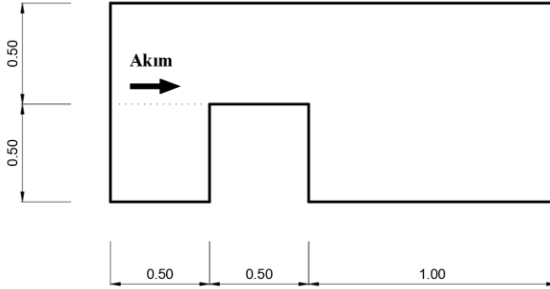
Sayısal simülasyonun çözüm ve sonuç yazdırma ayarlarının, parametrelere ait matris çözücülerinin ve gerekli çözüm şemalarının belirlendiği klasördür. *weirOverflow* örneğine ait *system* klasörü içerisindeki bulunan dosyalar Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. *system* Klasörünün İçeriği

3.3.1. *blockMeshDict*

blockMeshDict dosyası⁵, sayısal modelin çözüm ağının ve yüzey sınır şartlarının belirlendiği dosyadır. Geometrik özellikleri Şekil 10'da verilen kenarlı savak modeli için *blockMesh* yöntemi kullanılmıştır⁶. Açık kanal girişinden 0.50 m uzaklığa yerleştirilen kalın kenarlı savağın yüksekliği 0.50 m ve genişliği 1.00 m (sayfa düzlemine dik derinlik) olarak tanımlanmıştır. Çözüm bloğunun toplam uzunluğu 2.00 m ve yüksekliği 1.00 m olarak belirlenmiştir.



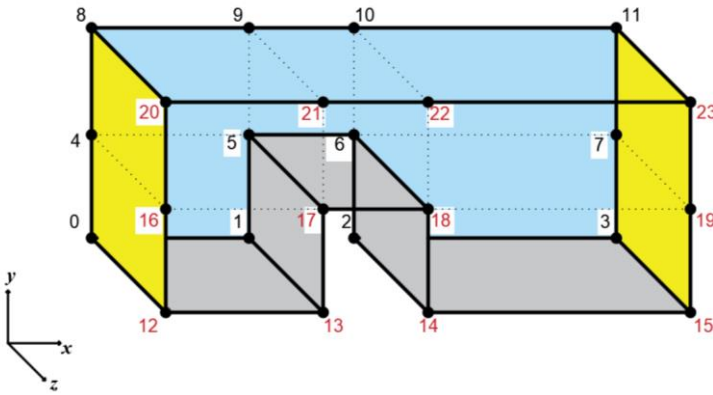
Şekil 10. Örnek Model Boykesiti (tüm ölçüler m cinsindedir)

blockMeshDict dosyasında her bir nokta, koordinat düzlemine göre numaralandırma yapılarak tanımlanır. Örneğin; Şekil 11'de görüldüğü üzere, kalın kenarlı bir savak tasarımı için anlatımın daha

⁵ Sayısal modelin çözüm ağını tanımlayabilmek için kullanılan *blockMeshDict* dosyası, kullanılan OpenFOAM versiyonuna göre *constant* ya da *system* klasörü içerisinde tanımlanabilir.

⁶ Basit geometriler için *blockMesh* ile modelleme yapılabilirken daha karmaşık geometriler için *snappyHexMesh* yönteminin kullanılması daha pratiktir. Bu yöntem için *constant* klasörü içerisinde *triSurface* isimli bir klasör oluşturulup içerisine model geometrisinin stl uzantılı dosyası eklenmelidir. Konu ile ilgili detaylı bilgi için CFD forum sitesine (<https://www.cfd-online.com/forums/openfoam/2022-06-10>) ya da OpenFOAM kullanıcı kılavuzuna (Greenshields, 2019) göz atabilirsiniz.

anlaşılabilir olması amacıyla kanal tabanı gri, kanal giriş ve çıkış bölgeleri sarı, sayfa düzlemine dik derinlikteki yan duvar ise mavi renge boyanmıştır. Çözüm bloğunun ön yüzü ise renksiz olarak tanımlanmıştır. Programlama dili sıfırdan başladığı için her bir düğüm noktasına sıfırdan başlamak üzere numaralandırma yapılır. Bu örnekte arka yan duvardan (mavi bölge) başlanarak numaralandırma yapılmıştır. Arka yüzdeki düğüm noktaları bittikten sonra ön yüzden (renksiz duvardan) numaralandırma işlemine devam edilmiştir. Daha net anlaşılması için arka duvardaki noktalar siyah renkte, ön yüzdeki noktalar kırmızı renkte numaralandırılmıştır.



Şekil 11. Çözüm Ağının Oluşturulması için Noktaların Belirlenmesi

Şekil 12’de, *blockMeshDict* dosyasından bir bölüm gösterilmiştir. İlk satırdaki *convertToMeters*, koordinat sisteminin global ölçeğini ifade etmektedir (Greenshields, 2019). Örneğin *convertToMeters* satırına 0.01 yazılırsa, geri kalan bütün koordinatlar cm cinsinden yazılabilir. Bu satırın 1 olması durumunda bütün koordinatların metre cinsinden tanımlanması gerekmektedir.

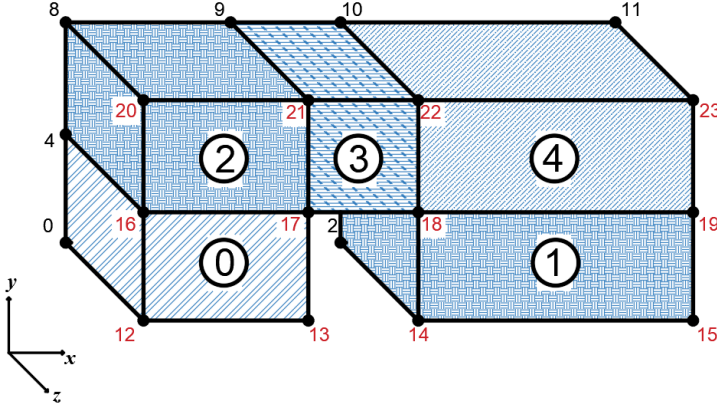
Numaralandırma işlemi tamamlandıktan sonra *blockMeshDict* dosyası içerisindeki *vertices* bölümüne her bir noktanın koordinatları parantez içerisinde yazılır. Her bir noktanın koordinatları Şekil 11’deki 0 noktası orijin olacak şekilde tanımlanmıştır. Parantez içerisindeki değerler sırası ile x , y , z eksenlerinin orijine olan mesafelerini ifade etmektedir (Greenshields, 2019). Örneğin 23 noktasının koordinatları

(2 1 1) olarak tanımlanmıştır. Yani 23 noktasının 0 noktasına olan konumu x ekseninde 2 m, y ekseninde 1 m ve z ekseninde 1 m'dir.

```
convertToMeters 1;  
  
vertices  
(  
  //arka  
  (0 0 0) //0  
  (0.5 0 0) //1  
  (1 0 0) //2  
  (2 0 0) //3  
  (0 0.5 0) //4  
  (0.5 0.5 0) //5  
  (1 0.5 0) //6  
  (2 0.5 0) //7  
  (0 1 0) //8  
  (0.5 1 0) //9  
  (1 1 0) //10  
  (2 1 0) //11  
  
  //ön  
  (0 0 1) //12  
  (0.5 0 1) //13  
  (1 0 1) //14  
  (2 0 1) //15  
  (0 0.5 1) //16  
  (0.5 0.5 1) //17  
  (1 0.5 1) //18  
  (2 0.5 1) //19  
  (0 1 1) //20  
  (0.5 1 1) //21  
  (1 1 1) //22  
  (2 1 1) //23  
  
);
```

Şekil 12. Çözüm Ağı için Koordinatların Belirlenmesi

Her bir noktanın koordinatları belirlendikten sonra belirlenen çözüm blokları hücrelenmelidir. Şekil 13'te görüldüğü gibi, kesit üzerindeki bütün bloklar yine sıfırdan başlanmak üzere numaralandırılır. Akım geçmeyen yerlere çözüm hücresi yerleştirilmeyeceğinden savağın alt kısmı numaralandırılmamış ve toplamda 5 adet blok oluşturulmuştur. Blok kavramının net bir şekilde anlaşılabilmesi için her bir blok için farklı dokuma işlemi yapılmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Çözüm Bloklarının Oluşturulması

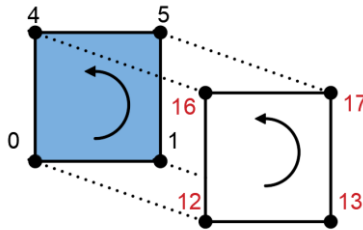
Bloklar numaralandırıldıktan sonra, *blockMeshDict* dosyasındaki *blocks* bölümüne tanımlama işlemi yapılır (Şekil 14). Bloklama işlemi için *blocks* bölümündeki *hex* satırına noktalar, Şekil 15'te görüldüğü gibi, belirli bir düzende yazılması gerekir (Greenshields, 2019). Örneğin 0 numaralı blok tanımı için, ilk etapta arka (mavi renkli) duvardaki noktalar saat yönünün tersinde yazıldıktan sonra ön yüzdeki (renksiz duvar) noktalar ile devam edilir (0 1 5 4 12 13 17 16).

```

blocks
(
  hex (0 1 5 4 12 13 17 16) (10 10 20) simpleGrading (1 1 1) //0
  hex (2 3 7 6 14 15 19 18) (20 10 20) simpleGrading (1 1 1) //1
  hex (4 5 9 8 16 17 21 20) (10 10 20) simpleGrading (1 1 1) //2
  hex (5 6 10 9 17 18 22 21) (10 10 20) simpleGrading (1 1 1) //3
  hex (6 7 11 10 18 19 23 22) (20 10 20) simpleGrading (1 1 1) //4
);

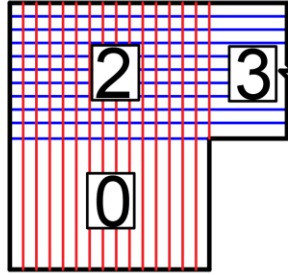
```

Şekil 14. *blockMeshDict* Dosyasında Blok Oluşturmak İçin Hazırlanan Bölüm



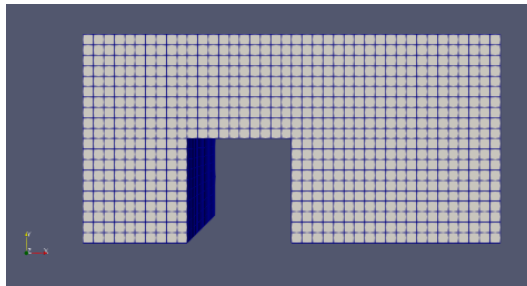
Şekil 15. Blok Oluşturmak İçin Noktaların Yazılış Sırası

hex satırının ikinci parantez kısmına ise her bir ekseninde olması gereken hücre sayısı yazılır (Greenshields, 2019). Örneğin 0 bloğu için x eksenine 10 adet, y eksenine 10 adet ve z eksenine 20 adet hücre yerleştirilmiştir (Şekil 14). İki boyutlu bir çözüm yapılacaksa z eksenindeki hücre sayısı 1 olmalıdır. Bu aşamadaki önemli bir ayrıntı ise; komşu blokların, komşu oldukları eksenlerdeki hücre sayılarının birbirine eşit olmasıdır. Örneğin; Şekil 16’da görüldüğü gibi, 0 ile 2 numaralı blokların x eksenleri için belirlenen hücre sayılarının (kırmızı çizgiler) eşit olması gerekirken, 2 ile 3 numaralı blokların y eksenleri için belirlenen hücre sayılarının (mavi çizgi) birbirine eşit olması gerekmektedir. Aksi halde *blockMesh* komutu çalışmadan hata verir.



Şekil 16. Komşu Bloklarda Hücre Sayılarının Belirlenmesi

simpleGrading (1 1 1) ifadesi, blok içerisinde herhangi bir daraltma/genişletme yapmadan bütün hücrelerin aynı boyutta olmasını sağlayan ifadedir (Şekil 17) (Greenshields, 2019).



Şekil 17. Uniform Çözüm Ağı

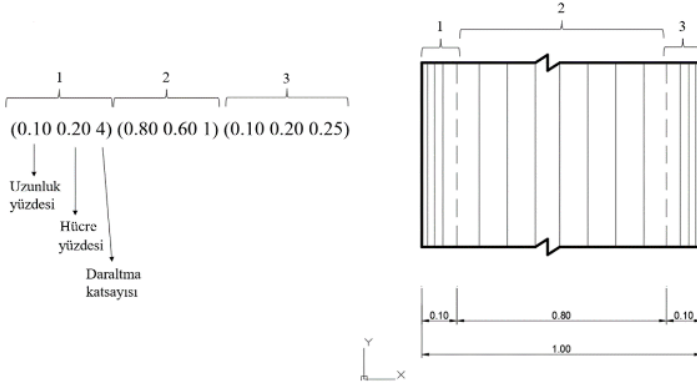
Duvara yakın bölgelerdeki hız değişimlerini daha net görebilmek için bu bölgelerde hücre sayısının artırılması gerekmektedir (<https://www.simscale.com/forum/t/what-is-y-yplus/82394/1>, 2022-06-

06). Uniform hücreler kullanılarak oluşturulan çözüm bloğu içerisindeki toplam hücre sayısını arttırmak, hassas sonuç almak için bir çözümdür. Ancak, kullanılacak toplam hücre sayısındaki artış nedeniyle, çözüm süresi açısından ekonomik bir model olmamaktadır. Geçiş bölgelerinde oluşturulacak kademeli daraltma/genişletme ile tasarlanan modellerde ise model için kullanılan toplam hücre sayısı azalacağından zaman bakımından daha ekonomik bir yaklaşım olmaktadır.

Blok içerisinde daraltma/genişletme yapabilmek için *simpleGrading* ifadesinden sonraki kısımda her bir eksen için bir oran girilebilir (Greenshields, 2019). Örneğin; *simpleGrading* (1 4 1) şeklinde bir tanımlama yapılırsa bu durumda hücrelerin x ve z ekseninde uniform bir dağılım oluşurken y ekseninde ise 4 kat bir daraltma oluşturulabilir.

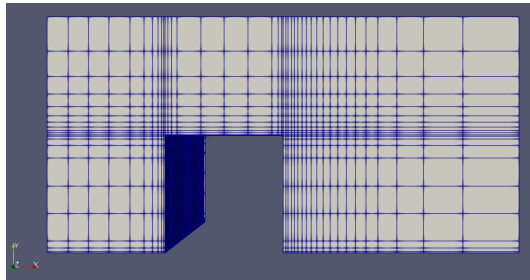
Daraltma/genişletme işlemi birden çok bölgede yapılmak isteniyorsa çözüm bloğu bölgelere ayrılabilir. Her bir eksen için ayrı bir alan olacak şekilde sırasıyla uzunluk yüzdesi, hücre yüzdesi ve daraltma/genişletme oranı belirlenmelidir (Greenshields, 2019). Şekil 18'de, x eksenini için yapılan bir örnek gösterilmiştir. Blok, üç bölgeye ayrılarak her bölge için ayrı parantez kullanılmıştır. Her parantez, ayrılan bir bölgeyi temsil etmektedir. Örneğin; 1.00 m uzunluğundaki bloğun x ekseninde toplamda 20 adet çözüm hücresi kullanılacak olsun. Bu bloğun birinci bölgesi için parantez içerisinde verilen ilk değer (0.10), bölgenin uzunluk yüzdesini ifade etmektedir (Greenshields, 2019). Yani 1.00 m uzunluğundaki çözüm bloğunun birinci bölgesinin uzunluğu $1.00 \times 0.10 = 0.10$ m olur. İlk parantez içerisindeki ikinci değer (0.20), toplam hücre sayısının yüzde kaçının bu bölgede kullanılacağını ifade eder (Greenshields, 2019). Dolayısı ile toplam hücre sayısının yüzde 20'si olan 4 adet hücre (20×0.20) ilk bölgeye yerleştirilmiştir. İlk parantez içerisindeki son değer ise bölge içerisindeki hücrelerin aralarındaki mesafenin kaç kat daraltılacağını/genişletileceğini ifade etmektedir (Greenshields, 2019). Burada kullanılan 4 rakamı, bölge içerisindeki maksimum ile minimum hücre aralıkları arasındaki oranı belirtmektedir. Dikkat edilirse, üçüncü bölge için daraltma oranı, birinci bölgedeki ile aynı oranda olacak şekilde, ters yönlü verilmiştir

($1/4=0.25$). İkinci ve üçüncü bölge için benzer mantık kullanılarak tasarım yapılabilir.



Şekil 18. Çözüm Ağında Daraltma/Genişletme

Konunun daha net anlaşılması için, kalın kenarlı savak modelinin *simpleGrading* bölümünde düzenleme yapılarak hassasiyet gereken bölgelerde daha sık hücreleme yapılmıştır (Şekil 19). Bu model için *blockMeshDict* dosyasına ait satırlar Şekil 20’de verilmiştir. Dikkat edilirse, 3 nolu blok haricindeki bloklar iki bölgeye bölünerek tasarım yapılmıştır. Giriş, çıkış ve üst kısımlarda hassas hücrelere ihtiyaç olmadığından bu bölgelere daha seyrek hücreler yerleştirilmiştir. Bu durum tamamen geometriye bağlıdır. Bahsi geçen örnekte, blokların z eksenini için herhangi bir daraltma/genişletme işlemi yapılmamıştır. Yani z eksenindeki bütün hücreler uniform dağılım göstermektedir.



Şekil 19. Kalın Kenarlı Savakta Daraltma/Genişletme Uygulaması

```

blocks
(
  hex (0 1 5 4 12 13 17 16) (10 10 20) simpleGrading
  (((0.7 0.40 1) (0.3 0.6 0.1)) ((0.10 0.3 5) (0.7 0.3 1) (0.2 0.4 0.1)) ((1 1 1))) //0

  hex (2 3 7 6 14 15 19 18) (20 10 20) simpleGrading
  (((0.4 0.80 5) (0.6 0.2 3)) ((0.10 0.3 5) (0.7 0.3 1) (0.2 0.4 0.1)) ((1 1 1))) //1

  hex (4 5 9 8 16 17 21 20) (10 10 20) simpleGrading
  (((0.7 0.40 1) (0.3 0.6 0.1)) ((1 1 20)) ((1 1 1))) //2

  hex (5 6 10 9 17 18 22 21) (10 10 20) simpleGrading
  (((0.10 0.25 2) (0.8 0.5 1) (0.1 0.25 0.25)) ((1 1 20)) ((1 1 1))) //3

  hex (6 7 11 10 18 19 23 22) (20 10 20) simpleGrading
  (((0.4 0.80 5) (0.6 0.2 3)) ((1 1 20)) ((1 1 1))) //4

);

```

Şekil 20. Kalın Kenarlı Savakta Daraltma/Genişletme için Düzenlenen *Blockmeshdict* Dosyası

Şekil 21’de, *blockMeshDict* dosyasında oluşturulan yüzeylerin tanımlanması yapılmıştır. Şekil 11’de verilen noktalara göre sol taraftaki sarı bölge *inlet*, sağ taraftaki sarı bölge *outlet*, taban kısmı *lowerWall*, kenar duvarlar ise *sideWall* ve kanalın üst kısmı *atmosphere* olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar yapılırken noktalar, bir sıraya göre yazılmalıdır (Greenshields, 2019). Örneğin *inlet* yaması (0 4 16 12) ve (4 8 20 16) şeklinde tanımlanmıştır. Bu rakamlar tek tek takip edildiğinde Şekil 15’te gösterildiği gibi belirli bir sıra halinde yazıldığı görülmektedir.

```

patches
(
  patch inlet
  (
    (0 4 16 12)
    (4 8 20 16)
  )

  patch outlet
  (
    (3 7 19 15)
    (11 23 19 7)
  )

  wall lowerWall
  (
    (0 1 13 12)
    (1 5 17 13)
    (5 6 18 17)
    (6 2 14 18)
    (2 3 15 14)
  )

  wall sideWall
  (
    (0 1 5 4)
    (4 5 9 8)
    (5 6 10 9)
    (2 3 7 6)
    (6 7 11 10)
    (12 13 17 16)
    (16 17 21 20)
    (17 18 22 21)
    (14 15 19 18)
    (18 19 23 22)
  )

  patch atmosphere
  (
    (8 9 21 20)
    (9 10 22 21)
    (10 11 23 22)
  )
);

```

Şekil 21. *blockMeshDict* Dosyasında Yüzeylerin Tanımlanması

3.3.2. *changeDictionaryDict*

blockMeshDict dosyası içerisinde tanımlama yapılmayan yüzeyler, varsayılan yüzey olarak (*defaultFaces*) olarak algılanır. Bu yüzeylere toplu olarak bir yama atamak için *changeDictionaryDict* dosyası kullanılmaktadır. Bu şekilde, karmaşık geometriler için noktaları tek tek girmek yerine pratik bir şekilde tanımlama işlemi yapılabilir (Greenshields, 2019). Dolayısı ile kullanıcı, *type* satırına istediği tanımlı yazarak varsayılan yüzeyleri hızlı bir şekilde tanımlayabilmektedir (Şekil 22).

```

boundary
{
    defaultFaces
    {
        type          wall;
    }
}

```

Şekil 22. *changeDictionaryDict* Dosyası ile Yüzey Tanımlama

3.3.3. *controlDict*

Simülasyonun zaman ve çözüm ayarları *controlDict* dosyası ile düzenlenmektedir. Şekil 23'te detayları verilen dosyanın her bir satırındaki ifadeler, aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- ❖ *application* satırına, çözüm için seçilen çözücü adı yazılır (Greenshields, 2019).
- ❖ İkinci satırda simülasyon süresinin başlangıç noktası belirlenir. Bu satıra *startTime* ya da *firstTime* ifadesi de yazılabilir. Ancak simülasyona kalındığı yerden devam edilmek isteniyorsa o zaman *latestTime* olarak tanımlama yapılabilir. Sıfırdan başlayacak bir analiz için *latestTime* ifadesi herhangi bir sorun teşkil etmemektedir (Greenshields, 2019).
- ❖ *startTime*, simülasyon başlangıç zamanını; *stopAt*, simülasyonun bitiş zamanını ifade etmektedir. Bu alana *endTime* ifadesinin yazılması simülasyon için belirlenen bitiş zaman adımını ifade etmektedir (Greenshields, 2019).
- ❖ *deltaT*, simülasyonun zaman adımını ifade etmektedir (Greenshields, 2019). Her bir saniyelik çözümün 1000'e bölünerek yapılması istendiği için bu satıra 0.001 yazılmıştır. Eğer *adjustTimeStep* satırı aktif edilirse (bu satıra *on* ya da *yes* yazılırsa aktif olur) simülasyon zaman adımları maksimum *Courant* Sayısını aşmayacak şekilde belirlenir. *Courant* Sayısı (Co), bir parçacığın çözüm ağındaki bir hücrede kaldığı süreyi temsil eden boyutsuz bir değerdir (<https://www.simscale.com/knowledge-base/what-is-a-courant-number/2022-06-24>). Eşitlik (6)'da gösterildiği gibi formüle edilen değerde U , hız büyüklüğünü; Δt zaman

adımını ve Δx ise çözüm ağı elemanları arasındaki uzunluğu ifade etmektedir.

$$Co = U \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (6)$$

- ❖ *writeControl* satırı, simülasyon çıktılarının yazılacağı zaman aralığını ifade etmektedir. Alternatif yazım seçenekleri de mevcuttur (*timeStep*, *runTime*, *cpuTime*, *clockTime*) (Greenshields, 2019).
- ❖ *writeInterval*, yazım aralıklarının belirlenmesi için kullanılır (Greenshields, 2019).
- ❖ *purgeWrite* satırına çözüm klasörlerinin depolanması için belirlenen klasör sayısı yazılır. Varsayılan değer sıfırdır. Sıfır olması durumunda belirlenen her bir zaman adımı için bir sonuç klasörü oluşturulur (Greenshields, 2019). Örneğin; başlangıç zamanı 0 olan bir simülasyonun *deltaT* değeri 1 olsun. 10 saniyelik bir çözümde her saniye için bir çözüm klasörü oluşturacağı için toplamda 10 adet çözüm klasörü yazılacaktır. *purgeWrite* değeri 2 olarak belirlenirse her adımda sadece son iki sonuç klasörü yazılır.
- ❖ *writeFormat* satırı, sonuç dosyalarının yazım formatının belirlenmesi için kullanılır (Greenshields, 2019).
- ❖ *writePrecision*, sonuçların virgülden sonraki hassasiyet değerini belirlemek için kullanılır (Greenshields, 2019).
- ❖ *writeCompression*, sonuç klasörlerinin sıkıştırılıp sıkıştırılmayacağı hakkında belirlenen kriterdir (Greenshields, 2019).
- ❖ *timeFormat*, zaman dizinlerinin adlandırma biçimini belirtir (Greenshields, 2019).
- ❖ *timePrecision*, zaman hassasiyetini ifade eden değerdir (Greenshields, 2019).
- ❖ *runTimeModifiable* satırının aktif olması durumunda simülasyon esnasında *controlDict* dosyası içerisinde yapılan değişiklikler her bir zaman adımında okunur. Bu satırın aktif olmadığı durumlarda *controlDict* dosyası sadece simülasyon

başlangıcında okunur ve simülasyon esnasında yapılan değişiklikler dikkate alınmaz (Greenshields, 2019).

- ❖ *adjustTimeStep* satırının aktif olması durumunda çözüm esnasındaki zaman adımı maksimum *Courant* Sayısına göre ayarlanır (Greenshields, 2019).
- ❖ *maxCo*, maksimum *Courant* Sayısını; *maxAlphaCo*, maksimum faz alanını ve *maxDeltaT*, simülasyon süresince zaman adımının maksimum aralığını ifade eder (Greenshields, 2019).

```
application    interFoam;
startFrom      latestTime;
startTime      0;
stopAt         endTime;
endTime        80;
deltaT         0.001;
writeControl   adjustableRunTime;
writeInterval  2;
purgeWrite     1;
writeFormat    binary;
writePrecision 6;
writeCompression off;
timeFormat     general;
timePrecision  6;
runTimeModifiable yes;
adjustTimeStep on;
maxCo          1;
maxAlphaCo     1;
maxDeltaT      1;
```

Şekil 23. *controlDict* Dosyasına ait Bir Bölüm

3.3.4. *decomposeParDict*

system klasörü içerisindeki *decomposeParDict* dosyası ile, kullanılan geometri ve alanlar bir dizi parametreye bölünebilir

(Greenshields, 2019). *numberOfSubdomains* satırına çekirdek sayısı yazılır. Ayırıştırma metodu için birkaç seçenek mevcuttur⁷ (Şekil 24).

```
numberOfSubdomains 56;  
  
method            scotch;
```

Şekil 24. *decomposeParDict* Dosyasının İçeriği

3.3.5. *fvSchemes*

Bir simülasyon sırasında hesaplanan denklemlerin sayısal şemalarını ayarlamak için *system* klasörü içerisindeki *fvSchemes* dosyası kullanılır. OpenFOAM'daki amaç, genellikle standart Gauss sonlu hacim entegrasyonu ayırıştırmasından başlayarak kullanıcıya sınırsız bir seçim sunmaktır. Gauss entegrasyonu, hücre merkezlerinden enterpolasyon yapılması gereken hücre yüzeylerindeki değerlerin toplanmasına dayanır (Greenshields, 2019).

Şekil 25'te verilen *ddtSchemes* ifadesi zaman şemasını ifade etmektedir. Eğer çözümler zamana bağlı değilse bu alana *steadyState* ifadesi yazılır. Zamana bağlı olarak değişen çözümlerde kullanıcı, birinci ya da ikinci dereceden çözüm yapan yöntemleri seçebilir. *Euler* (birinci derece), *localEuler* (birinci derece), *backward* (ikinci derece) ve *CrankNicolson* (ikinci derece) zaman şeması için kullanılacak alternatif yöntemlerdir (Greenshields, 2019).

gradSchemes ifadesi gradyan terimlerini ifade eder. Varsayılan olarak Gauss linear yönteminin kullanıldığı enterpolasyon işlemlerinde tüm komşu hücreleri kullanarak ikinci dereceden hesaplama yapan *leastSquares* yöntemi ya da üçüncü dereceden hesaplama yapan *Gauss cubic* yöntemi kullanılacak alternatifler arasındadır (Greenshields, 2019).

divSchemes ifadesi iraksama ifadelerini içeren bölümdür. Advectif olmayan terimler için genellikle lineer enterpolasyon yapan Gauss linear yöntemi kullanılır. Ancak advectif terimlerin ifadesi için daha kapsamlı tanımlar mevcuttur. Bu terimler için kullanılan anahtar sözcük *div(phi,...)* şeklindedir. Buradaki *phi* ifadesi genellikle sabit

⁷ Ayırıştırma metodları için detaylı bilgiye ilgili kaynaktan ulaşabilirsiniz (Greenshields, 2019).

yoğunluklu akışlar için hücre yüzeyindeki hacimsel hız akışını ve sıkıştırılabilir akışlar için kütle akışını gösterir. Örneğin; hız adveksiyonu için $div(phi,U)$, türbülanslı kinetik enerji için $div(phi,k)$ şeklinde ifade edilir. İkinci dereceden hesaplama yapan *linear* yöntemi dışındaki alternatifler, kullanıcı kılavuzunda (Greenshields, 2019) mevcuttur.

snGradSchemes bölümü, yüzey normal değişim şemasını ifade etmektedir. Bir hücredeki yüzey normali ile bu yüzeyin bağlandığı ikinci yüzey merkezindeki değerlerin değişiminin normal bileşenidir. Hücre merkezlerini bağlayan vektör yüzeye dik ise bu durumda *orthogonal* şema ikinci dereceden doğrudur. Ortogonalite için düzenli bir çözüm ağı yapısı gereklidir. Ortogonal bileşendeki doğruluğu devam ettirebilmek için ortogonal olmayan bir düzeltme yapılabilir. Bu durumda *corrected* şeması kullanılabilir. Hücre vektörü ile yüzey normal vektörü arasındaki açı arttıkça düzeltmenin boyutu da artar. Düzeltme faktörü için 0, 0.33, 0.50 ve 1 katsayıları kullanılır. 0 değeri *uncorrected*, 1 değeri ise *corrected* şemasını ifade etmektedir. Aradaki değerlerden 0.33 daha kararlı sonuç verirken bu değer 0.50 olması durumunda doğruluk değeri artmaktadır (Greenshields, 2019).

laplacianSchemes ifadesi Laplace terimlerini içeren bölümdür. Tipik bir Laplace terimi olan $\nabla \cdot (v\nabla U)$ ifadesi *laplacianSchemes*'deki *laplacian(nu,U)* ifadesine karşılık gelen momentum denklemlerindeki difüzyon terimidir. Ayrıştırmanın tek seçeneği olarak Gauss şeması kullanılır. Yukarıda *snGradSchemes* bölümündeki şemalar bu bölüm için de geçerlidir (Greenshields, 2019).

interpolationSchemes hücre merkezinden yüzey merkezine değerlerin interpolasyon olan terimlerini içerir. OpenFOAM içerisinde birçok interpolasyon metodu olmasına rağmen, birkaç örnek dışındaki bütün örneklerde varsayılan olan *linear* interpolasyon kullanılmıştır (Greenshields, 2019).

```

ddtSchemes
{
  default      Euler;
}

gradSchemes
{
  default      Gauss linear;
}

divSchemes
{
  default      none;
  div(rhoPhi,U) Gauss linearUpwind grad(U);
  div(phi,alpha) Gauss vanLeer;
  div(phi,b,alpha) Gauss linear;
  div(phi,k) Gauss upwind;
  div(phi,omega) Gauss upwind;
  div(phi,R) Gauss upwind;
  div(R) Gauss linear;
  div(phi,nuTilda) Gauss upwind;
  div(((rho*nuEff)*dev2(T(grad(U)))) Gauss linear;
}

laplacianSchemes
{
  default      Gauss linear corrected;
}

interpolationSchemes
{
  default      linear;
}

snGradSchemes
{
  default      corrected;
}

wallDist
{
  method meshWave;
}

```

Şekil 25. *fvSchemes* Dosyasının İçeriği

3.3.6. *fvSolutions*

Denklemlerin çözümlerini, simülasyon toleranslarını ve algoritmalarını tanımlamak için *fvSolution* dosyası kullanılır (Şekil 26). *solvers* bölümü altında her bir değişken için matris çözümler belirlenir. Çözümler, simetrik ve asimetrik matrisler arasında ayırımı yapmaktadır. Matrislerin simetrisi, çözümlenecek denklemlerin terimlerine bağlıdır. Örneğin, zaman ve laplace terimleri, simetrik bir matrisin katsayılarını oluştururken advectif türev terimleri matrisi asimetrik hale getirmektedir. Kullanıcı bu aşamada simetrik bir matris için asimetrik

bir çözücü belirlediğinde ya da tersi bir durumda yazılım tarafından bir hata mesajı alır (Greenshields, 2019)⁸.

Bir matris çözücüsü, iterasyon yaparak çözüm elde etmektedir. Art arda yapılan iterasyonlar neticesinde kalan artık değer (*residual*) hata oranının bir ölçüsüdür. Bu değer ne kadar küçükse sonuç o kadar doğru olur. Çözüme başlamadan önce belirlenmesi gereken bu kriter, aynı zamanda simülasyonların tamamlanması için de bir tolerans teşkil etmektedir. Yani kullanıcı, *tolerance* satırında belirleyeceği değer ile iterasyonlar sonucunda kalan artık değerın büyüklüğünü belirleyerek simülasyonlar için bir durma noktası belirler. Dolayısı ile çözücü, aşağıda belirtilen maddelerden herhangi birine ulaştığında simülasyon durur (Greenshields, 2019).

- ❖ İterasyon sonucunda kalan artık değerın kullanıcının belirlediği *tolerance* değerinin altında kalması durumunda,
- ❖ İlk çözümden nihai çözüme kadar elde edilen artık oranının kullanıcının belirlediği *relTol* değerinin altında kalması durumunda,
- ❖ İterasyon sayısı, kullanıcının belirlediği maksimum iterasyon sayısını (varsayılan değer 1000'dir) aşyorsa simülasyon durur (Greenshields, 2019).

OpenFOAM'daki çoğu çözücü ya *PISO* (*pressure-implicit split-operator*) algoritmasını ya *SIMPLE* (*semi-implicit method for pressure-linked equations*) algoritmasını ya da bu iki algoritmanın kombinasyonu olan *PIMPLE* algoritmasını kullanır. Bu algoritmalar, momentum ve kütle korunum denklemlerini birleştiren iterasyon prosedürleridir. *PISO* ve *PIMPLE* algoritmaları geçiş problemlerinin (*transient*) çözümünde kullanılırken *SIMPLE* algoritması kararlı akım şartlarında (*steady-state*) kullanılır (Greenshields, 2019). Algoritmalar, simülasyonun çözüm süresi içerisinde kütle korunumunu sağlamak için basınç denklemini çözer ve momentum korunumunu sağlamak için de hız parametresi üzerinde düzeltme yapar. Bütün algoritmalar, aynı temel denklemler üzerinden çözüm yaparken döngüsel olarak bazı farklılıklar gösterirler. Dolayısı ile algoritmalara bağlı ayarlamalar

⁸ Bu bölümde kullanılacak çözücüler için lütfen kaynağa bakınız (Greenshields, 2019).

fvSolution dosyası içerisinde algoritmaya ait bölümde (*PISO*, *SIMPLE* ya da *PIMPLE*) belirlenir. Standart OpenFOAM çözücü uygulamalarının çoğunda bulunan *fvSolutions* sözlükleri, genel olarak çözücüleri, algoritmaları veya çözücüyü kontrol etmek için herhangi bir parametreyi içerebilir. Simülasyonlara başlandığı anda bu dosya içerisinde herhangi bir parametre veya bölüm eksikse, yazılım ayrıntılı bir hata mesajı yazdırarak simülasyonu sonlandırılır. Kullanıcı daha sonra buna göre eksik parametreleri ekleyebilir (Greenshields, 2019).

```

solvers
{
  alpha.water
  {
    nAlphaCorr      1;
    nAlphaSubCycles 2;
    cAlpha          1;
  }

  "pcorr.*"
  {
    solver           PCG;
    preconditioner   DIC;
    tolerance        1e-10;
    relTol           0;
  }

  p_rgh
  {
    solver           PCG;
    preconditioner   DIC;
    tolerance        1e-07;
    relTol           0.05;
  }

  p_rghFinal
  {
    $p_rgh;
    relTol           0;
  }

  "(U|k|omega)"
  {
    solver           smoothSolver;
    smoother         symGaussSeidel;
    tolerance        1e-8;
    relTol           0.1;
  }

  "(U|k|omega)Final"
  {
    $U;
    relTol           0;
  }
}

PIMPLE
{
  momentumPredictor no;
  nCorrectors       3;
  nNonOrthogonalCorrectors 0;
}

```

Şekil 26. *fvSolution* Dosyasının İçeriği

3.3.7. *setFieldsDict*

Simülasyonun başlangıç anında model içerisinde herhangi bir bölgeye (alan/hacim) akışkan tanımlayabilmek için *system* klasörü içerisindeki *setFieldsDict* dosyası kullanılmaktadır. *0* klasörü içerisinde bulunan *alpha.water.orig* dosyası ile koordineli çalışan bu dosya ile istenilen bölgedeki akışkan oranı için 0 ile 1 arasında bir değer ataması yapılır. *setFieldsDict* dosyası içerisindeki *regions* alanına, akışkan bölgesinin minimum koordinatları ilk parantez içerisinde, maksimum koordinatları ikinci parantez içerisinde olacak şekilde yazılır. *fieldsValue* satırında ise tanımlanan akışkan alanı için *alpha.water* oranı belirlenir. *defaultFieldsValues* ifadesi ile, *regions* bölümünde tanımlanan akışkan bölgesinin dışında kalan alanlar için *alpha.water* oranı tanımlanır (Şekil 27) (Greenshields, 2019).

```
defaultFieldValues
(
    volScalarFieldValue alpha.water 0
);

regions
(
    boxToCell
    {
        box (0 0 0) (0.5 1 0.52);

        fieldValues
        (
            volScalarFieldValue alpha.water 1
        );
    }
);
```

Şekil 27. *setFieldsDict* Dosyasının İçeriği

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında, açık kanala yerleştirilen kalın kenarlı savağın açık kaynak kodlu ücretsiz bir HAD yazılımı olan OpenFOAM ile sayısal modelleme aşamaları anlatılmıştır. Yazılımın çalışması için gerekli olan dosyalar tek tek açıklanarak başlangıç düzeyindeki kullanıcılar için faydalı bilgiler paylaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'ndeki görevim süresince bilgi birikiminden faydalandığım Prof. Dr. Ender Demirel'e, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Anıl Kızılaslan'a, Nazhmiddin Nasyrlayev'e, Hüseyin Yaban'a, Adnan Tolga Kürümüş'e, Mohammed Tariq Alşerif'e, Mustafa Kuzay'a ve Aras Doğan'a teşekkür ederim.

Sorumluluk Reddi

OpenFOAM® ve OpenCFD®, üretici OpenFOAM yazılımı olan OpenCFD Limited'in tescilli ticari markalarıdır. Bu kitap bölümü, OpenFOAM yazılımının www.openfoam.com üzerinden üreticisi, dağıtıcısı ve OPENFOAM® ve OpenCFD® ticari markalarının sahibi olan OpenCFD Limited tarafından doğrulanmamıştır veya onaylanmamıştır. Erdinç İkinciogulları'nın OpenCFD ile herhangi bir ilişkisi yoktur. Burada adı geçen tüm ürün adları, ilgili sahiplerinin ticari markaları veya tescilli ticari markalarıdır.

Disclaimer

OpenFOAM® and OpenCFD® are registered trademarks of OpenCFD Limited, the producer OpenFOAM software. This offering is not approved or endorsed by OpenCFD Limited, producer and distributor of the OpenFOAM software via www.openfoam.com, and owner of the OPENFOAM® and OpenCFD® trade marks. Erdinc İkinciogullari is not associated with OpenCFD. All product names mentioned herein are the trademarks or registered trademarks of their respective owners.

KAYNAKLAR

- Greenshields, C. (2019). OpenFOAM v7 User Guide. The OpenFOAM Foundation. <https://doc.cfd.direct/openfoam/user-guide-v7>
<https://openfoamwiki.net/index.php/Installation/Linux/OpenFOAM-7/Ubuntu/18.04>. Retrieved May 14, 2022.
- <https://openfoamwiki.net/index.php/InterFoam>. Retrieved March 8, 2022.
- https://wiki.ubuntu-tr.net/index.php?title=Ubuntu_Linux_kurulum_rehberi. Retrieved July 3, 2022.
- <https://www.cfd-online.com/Forums/openfoam/>. Retrieved June 10, 2022.
- https://www.cfd-online.com/Wiki/Turbulence_free-stream_boundary_conditions. Retrieved June 10, 2022.
- <https://www.openfoam.com/>. Retrieved March 8, 2022.
- <https://www.simscale.com/forum/t/what-is-y-yplus/82394/1>. Retrieved June 6, 2022.
- <https://www.simscale.com/knowledge-base/what-is-a-courant-number/>. Retrieved June 24, 2022.

BÖLÜM 7

FPGA YAPILARDA KAOTİK OSİLATÖR TASARIMI

Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN¹

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas, Türkiye. kaltun@cumhuriyet.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-7419-1901>

GİRİŞ

Son yüzyılda birçok bilim alanındaki çalışmalarda yer bulan kaos teorisi, farklı amaçlarla pek çok sistem davranışlarının ortaya konulmasında ve problemin çözümündeki yaklaşımlarıyla dikkat çekmiştir. Karmaşık davranışları temsil edebilmesinin yanında basit ve uygulanabilir olması da kaos teorisine olan ilgiyi artırmıştır. Özellikle mühendislik, tıp ve matematik alanında yapılan kaos teorisi tabanlı çalışmalar yeni tekniklerin, modellerin ve araştırma alanlarının ortaya çıkmasına katkı sağlamıştır. Kaos sinyallerinin birkaç devre elemanı ile gerçekleştirilebilmesi ve basit yapıları kullanım alanlarını genişletmiştir. Kaos tabanlı üreteç yapılarının gerek pasif devre elemanları ile gerekse de tümeşik yapılarla kolaylıkla gerçekleştirilebilmeleri bu gelişime katkı sağlamıştır. Kaos üreteçlerin tahmin edilemeyen davranışları özellikle güvenilir haberleşme sistemleri başta olmak üzere birçok alanda kullanımının önünü açmıştır.

Geleneksel haberleşme sistemlerinde sinüs, kosinüs gibi birçok bilinen sinyal taşıyıcı olarak kullanılmıştır. Ancak bilinen sinyallerle bilgi iletimi, bilginin güvenilirliğini azalttığından daha güvenilir yöntemler arayışı içerisinde olunmuştur. Özellikle güvenilir haberleşme sistemlerine ihtiyaç duyulan alanlarda bu çalışmaların önemi ve araştırmaları daha da hızlanmıştır. Bu aşamada kaos teorisi, güvenilir haberleşme sistem tasarımı ilk akla gelen sistemler arasında yer almaktadır. Kaos tabanlı haberleşme sistemlerinde geleneksel haberleşme sistemlerinde olduğu gibi bilgi iletimi taşıyıcı sinyal kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kaos tabanlı haberleşme sistemlerinde ilk olarak geleneksel haberleşme sistemlerinde olduğu gibi bilgi sinyali alıcı devrelerde demodülasyon yapılarak elde edilmeye çalışılmıştır. Alıcı devrelerde bilgi sinyalinin elde edilebilmesi için taşıyıcı sinyalin alıcı devrede elde edilmesi gerekmektedir. Ancak bunun için alıcı ve verici devrelerde taşıyıcı sinyallerin senkronize olması gerekir. Bu şekilde sürekli senkronize olması gereken yapılar coherent haberleşme sistemleri olarak adlandırılır. Kaotik tabanlı coherent haberleşme sistemlerinde bilgi sinyallerini taşıyan kaos sinyallerin alıcı devrelerde yeniden elde

edilmesi, yapısı gereği oldukça zordur. Bu durum kaos tabanlı haberleşme sistemlerinin özellikle pasif devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilmesini zorlaştırmıştır. Bu nedenle tümleşik devre yapılarının kullanımı bu zorluğu ortadan kaldırmaktadır. Tümleşik yapılar arasında yüksek çalışma frekansı ve paralel çalışma kabiliyeti açısından FPGA yapılar önemli yer tutar.

Sayısal Tabanlı Donanımlarda Kaos Üreteçlerin Gerçekleştirilmesi

Kaos sinyalleri sayısal tabanlı tümleşik devre yapıları olan ASIC (Application Specific Integrated Circuits) [1], DSP (Digital Signal Processing) [2] ve FPGA (Field Programmable Gate Array) [3] gibi sayısal devre yapılarıyla gerçekleştirilebilirler. Bu devre yapıları incelendiğinde Şekil 1'deki karşılaştırmada verildiği gibi, ASIC tabanlı kaos üreteçleri en iyi performansla sahip devre yapılarıdır. Ancak ASIC tabanlı devre yapılarının ilk tasarım ve test maliyetlerinin yüksek olması, ayrıca esnek olmayan tasarım metodolojisine sahip olması önemli dezavantajlar olarak göze çarpar. Öyle ki ASIC tabanlı tasarlanan sistemlerde birim maliyetin düşürülmesi için çok miktarda üretim yapılması gerekmektedir. Üretim esnasında yapılacak bir hata esnek olmayan bu yapılarda önemli maliyet ve zaman kaybına neden olabilir. Bir diğer sayısal tabanlı devre yapısı olan DSP çipleri ise, düşük çalışma frekanslarına bağlı olarak sıralı işlem çalışma süreci tasarımı yapılan sistemlerin yavaş çalışmasına neden olur. Bu durum iki veya üç diferansiyel denklem takımlarından oluşan kaotik sinyal üreteçlerinin çalışma frekanslarını düşürür. Sayısal tabanlı devre tasarımlarındaki tüm bu dezavantajlar FPGA yapıları ile bertaraf edilmiştir. FPGA tabanlı tasarımların esnek bir yapıya sahip olması, paralel işlem kabiliyeti ve yüksek frekanslardaki işlem süreci sayısal tabanlı sistemler için önemli avantajlar sunmaktadır [4].

Donanım	Performans / Maliyet	İlk Tasarım Süresi	Yüksek Performanslı Çalışma Süresi	Tekrar Programlanabilme Süresi
ASIC	Çok Yüksek	Çok Uzun	Çok Uzun	İmkansız
FPGA	Orta	Orta	Uzun	Orta
DSP	Yüksek	Uzun	Uzun	Uzun

↑ Hız

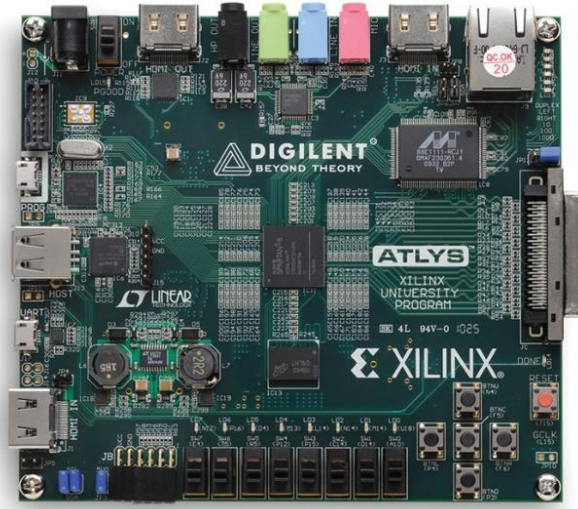
↓ Esneklik

Şekil 1. Sayısal donanımların karşılaştırılması.

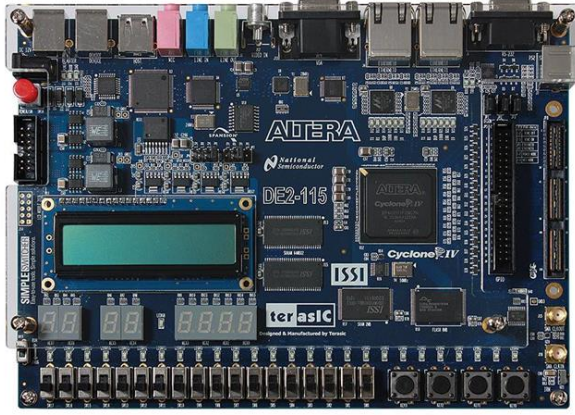
Sayısal tabanlı bir sistemin tasarımı yapılmadan önce sistemin hangi amaçlarla kullanılacağı, ileride gelişmeye açık olup olmadığı belirlenerek ASIC, DSP veya FPGA tabanlı tasarım metodolojisi belirlenmelidir. Aksi takdirde ileride gelişime açık olmayan ve tek bir kullanım amacı ile tasarlanan bir sistemin ASIC veya mikroişlemci tabanlı tasarımı yerine FPGA tasarımının gerçekleştirilmesi gerek zaman gerekse de maliyet açısından ekonomik olmayacaktır. Ancak tasarımın gelişimi ve işleyişini görmek açısından FPGA tabanlı tasarım yapılarak gerçekleştirildikten sonra bu tasarım ASIC tabanlı sistemlere taşınarak seri üretim aşamasında maliyetlerin azaltılması sağlanabilir. Bu nedenle FPGA tabanlı sistemlerde yapılan tasarımlar prototip aşamasında tercih edilebilir. FPGA, günümüzde tüketici elektroniğinde, özellikle uzay ve savunma sanayisinde, otomotiv sanayisi alanlarında; medikal görüntüleme, güvenilir haberleşme sistemleri, radar görüntüleme sistemleri, sayısal işaret işleme gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Yüksek performans gerektiren matematiksel döngülerde, fourier dönüşümü ve konvolüsyon gibi uygulamalardaki yüksek performansından dolayı tercih edilmektedir.

FPGA devre yapılarını, sahada istenen donanım karakteristiğine göre sürekli değiştirilebilen sayısal tabanlı tümleşik yapılar olarak ifade edebiliriz. FPGA'ler kullanıcı talebine göre programlanabilen entegreler olarak da bilinir. Bilindiği üzere entegre yapılar, içerisinde önceden belirlenmiş görevleri yapabilen transistörlerden oluşur. FPGA yapılarında ise her biri birbirinden ayrı ve kullanıcı talebine göre

istenilen fonksiyona dönüşebilen transistörler vardır. FPGA devre yapılarının en önemli özelliği paralel işlem yapabilmeleridir. Paralel işlem aynı anda birden fazla görevi, komutu veya hesaplamayı yapabileme anlamına gelir [4]. Bildiğimiz entegre yapılarının bu şekilde çalışması mümkün değildir. FPGA tabanlı sistem tasarımında bir kontrol ünitesine ihtiyaç duyulur. Kontrol ünitesinin FPGA içerisinde programlanabilmesi mümkün olmakla birlikte dışarıdan bir mikroişlemci kullanılarak da bu gerçekleştirilebilir. Dışarıdan mikroişlemci kullanılarak yapılan tasarımlarda mikroişlemcilerin kolay kontrolü, kolay tasarım ve test edilebilirliği FPGA sistemlerinin kontrolünü de kolaylaştırır. Böylelikle mikroişlemcinin kolay kontrol ünitesi ve FPGA sistemlerinin de paralel işlem kabiliyeti sayesinde yüksek performans sağlanmış olur. FPGA içerisine gömülen bu işlemciler “softcore” işlemci olarak adlandırılır. İçerisinde bu işlemci yapılarını barındıran Xilinx Zynq-7000 ve Altera Cyclone V modelleri bulunmaktadır. Piyasada en çok bilinen FPGA üreticileri Xilinx ve Altera firmalarıdır. Yapılan deneysel çalışmalarımızda da kullanılan Xilinx Spartan 6 ve Altera DE2-115 geliştirme kartları Şekil 2’de verilmiştir.



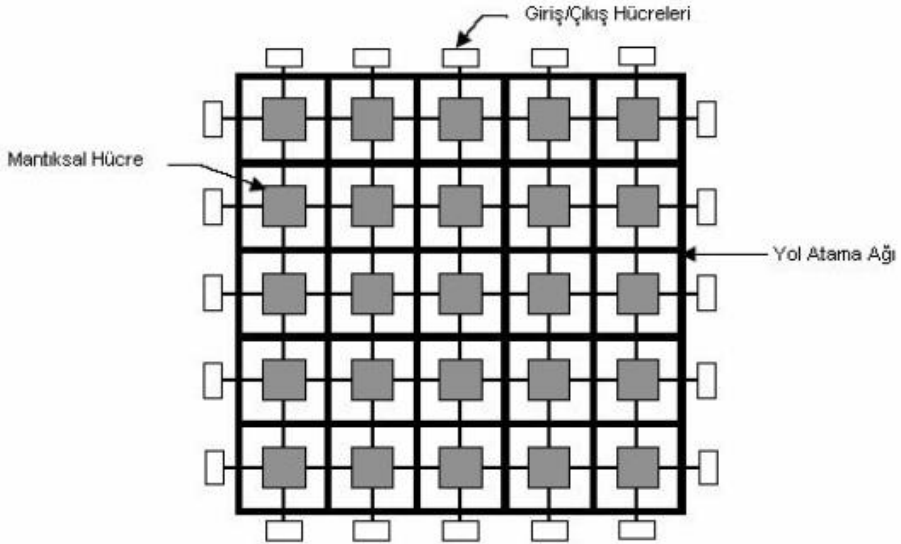
(a)



(b)

Şekil 2. FPGA uygulama kartları (a) Xilinx Spartan 6 geliştirme kartı (b) Altera DE2 115 geliştirme kartı.

FPGA üzerindeki bazı devre elemanları Şekil 3’de gösterilmiştir. Buna göre FPGA iç mimarisi programlanabilir mantıksal hücre blokları (PLU), bu blokların bağlandığı giriş çıkış hücreleri ve bu blokları birbirine bağlayan bağlantı ağlarından oluşmaktadır.



Şekil 3. – FPGA iç mimarisi.

FPGA'lar programlanabilen anahtarlar yardımı ile birbirine bağlanabilen mantık hücreleri dizisi içerir. Mantıksal hücreler paket pinlerine programlanabilen giriş çıkış hücreleri ile bağlıdır. Mantıksal hücreler içerisinde işlemleri gerçekleştiren LUT'lar (Look-up Table) ve işlem sonuçlarının saklandığı hafıza elemanları (Flip-Flop) bulunmaktadır. Bu elemanlar arasındaki bağlantılar ise kullanıcının ihtiyacına göre belirlediği yollardan oluşur. Ayrıca FPGA verilerinin aktarıldığı çıkış ve verilerin alındığı giriş portları bulunmaktadır.

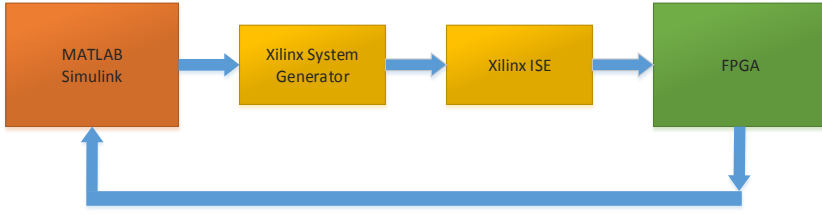
FPGA platformlarında iç mimari konfigürasyonlar HDL olarak adlandırılan programlama dilleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu programlama dilleri VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) ve Verilog olarak adlandırılır. Ayrıca şematik tasarım kullanılarak da FPGA sistemlerinin programlanabilmesi mümkündür.

FPGA yapılarındaki tüm bu üstünlükler kaotik sinyal üreticilerinin farklı başlangıç şartları ve hassas parametrelerle tekrar tekrar üretilmesine imkân verir. Böylelikle kaos tabanlı sistemlerde hassas parametre değişimlerinin analizi ve test edilmesi kolaylıkla sağlanabilir [5-7]. Tüm bu işlemler yapılırken donanım karmaşasının yaşanmaması ve esnek tasarım sağlaması da önemli avantajlardır.

Ayrık Zaman Kaotik Üreteçlerin FPGA ile Gerçekleştirilmesi

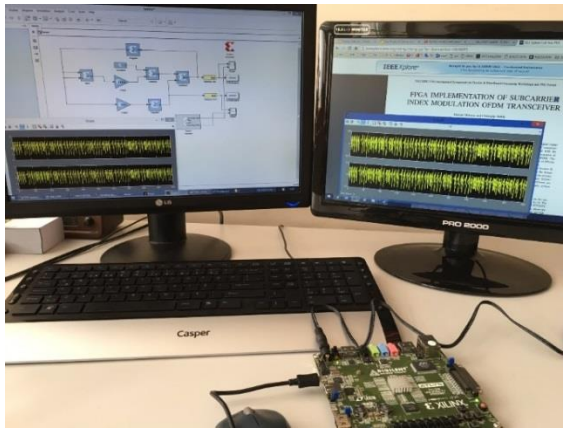
Henon Map kaotik üretici bir FPGA üreticisi olan Xilinx firmasının ürettiği Atlys Spartan-6 geliştirme kartı kullanarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak donanımı gerçekleştirilecek kaos üreticisine ait dinamik sistem blokları Xilinx bloklar kullanılarak Şekil 7'de gösterildiği gibi tasarlanmış, Şekil 8'deki sonuçlar elde edilmiştir.

System Generator Matlab/Simulink'de Xilinx bloklar kullanılarak oluşturulan matematiksel modelin hem HDL derlenmesini hem de otomatik olarak FPGA kartı ile eş zamanlı simülasyonunun gerçekleştirilmesini sağlar. Bu nedenle eş zamanlı bu çalışma HDL co-simulation olarak adlandırılır [8].



Şekil 4. FPGA tabanlı Xilinx System Generator ile hardware co-simulation adımları.

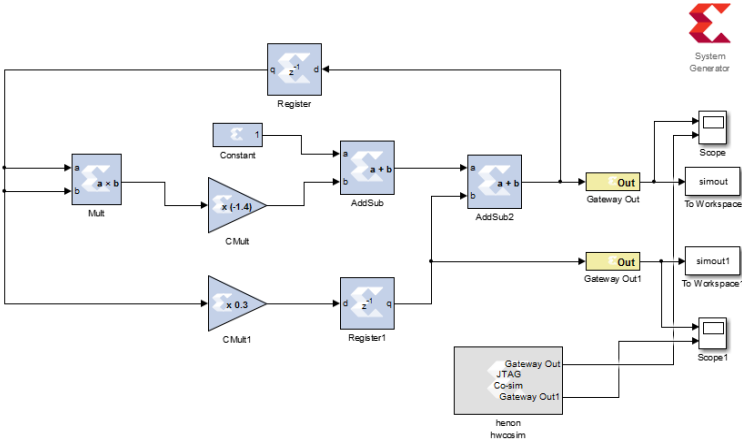
Tasarımı yapılacak sistem öncelikle Xilinx bloklarla Simulink'te tasarlanır, ardından System Generator kullanılarak FPGA Bitstream ile HDL kodlar derlenir [9]. Bu aşamada Şekil 4' de görüldüğü gibi hw-co-simulation blok yapı System Generator tarafından oluşturulur ve bu yeni yapı blok şemalarla karşılaştırılacak scope girişlerine bağlanarak simülasyon eş zamanlı olarak Simulink'te ve Şekil 5'de gösterilen FPGA geliştirme kartı ile gerçekleştirilir [10,11].



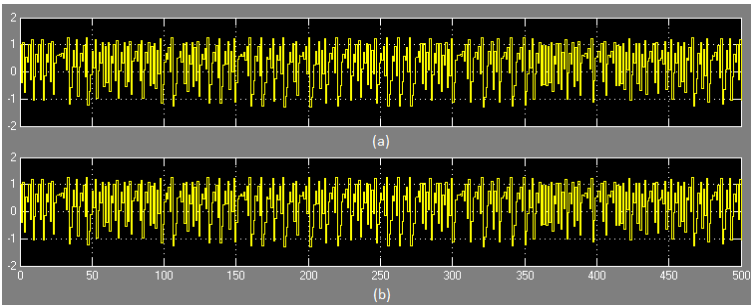
Şekil 5. Matlab/Simulink ve FPGA co-simulation uygulaması.



Şekil 6. Xilinx Atlys Spartan-6 FPGA geliştirme kartı deneysel çalışma.



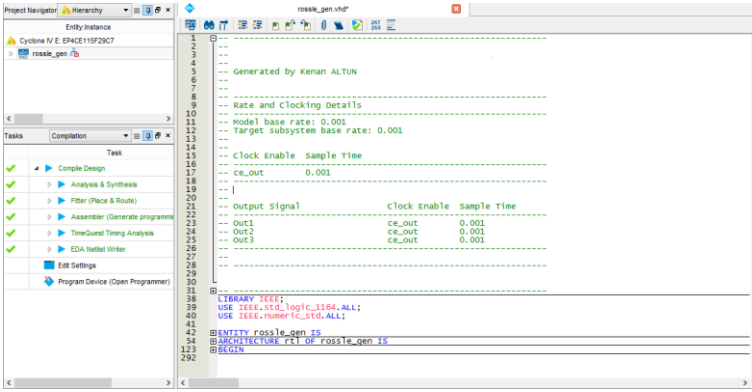
Şekil 7. Xilinx System Generator kullanılarak Henon Map kaotik üretici blok şeması.



Şekil 8. Henon Map kaotik generator a)Xilinx Simulink b)FPGA geliştirme kartı co-simulation çıkışı.

DK-HSA Tabanlı Kaotik Üreteçlerin FPGA ile Gerçekleştirilmesi

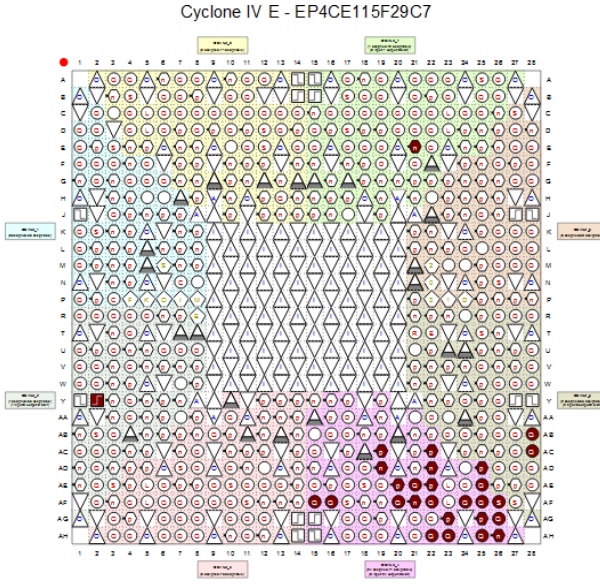
Bu örnekte ise diğer bir FPGA üreticisi Altera firmasının ürettiği DE2-115 geliştirme kartı kullanılarak kaotik sinyal üreteç devresinin deneysel kurulumu gerçekleştirilerek osiloskop görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntülerin gerçekleştirimi sürecinde ilk olarak donanımı gerçekleştirilecek kaos üretece ait dinamik sistemin HDL kodları VHDL dilinde yazılarak elde edilir. Daha sonra elde edilen HDL kodlar Altera derleme programı Quartus ara yüzü ile kullanılacak FPGA kart modeli belirlenerek oluşturulan yeni bir projeye Şekil 9'daki gibi eklenir.



Şekil 9. HDL derleme programı Quartus arayüzü.

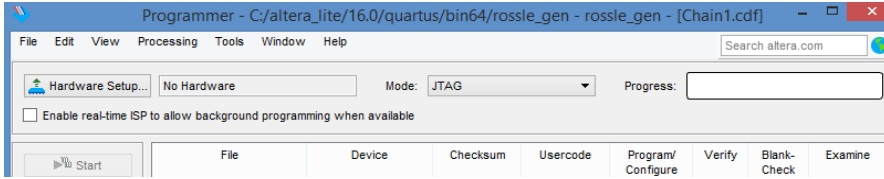
Quartus ara yüzünde derlenen HDL kodlar giriş çıkış ataması yapılması için pin diyagramı çıkarılarak atamalar gerçekleştirilir. Şekil 10'da Altera DE2-115 kartına ait işlemcinin giriş çıkış pin atamaları işaretlenmiştir.

Öncelikle tasarımı yapılacak devre yapısında giriş çıkış pinleri belirlenir. Daha sonra FPGA geliştirme kartı modeline göre giriş çıkış pinleri devre yapısıyla eşleştirilir. Ayrıca tasarımda kullanılacak clock üretici belirlenerek seçimi gerçekleştirilir. Tüm atamalar tamamlandıktan sonra derleme programı çalıştırılarak karta yüklenecek HDL kodlar elde edilir. Derlemede herhangi bir hata çıkması durumunda tasarım aşamaları kontrol edilerek gerekli düzeltmeler yapılır.



Şekil 10. Altera DE2-115 pin yapısı.

Pin atamaları ve varsa hata düzeltmeleri gerçekleştirildikten sonra yeniden derlenen HDL kodlar, Şekil 11’de gösterilen Quartus programlayıcı arayüzü kullanılarak FPGA geliştirme kartına yüklenir. Şekil 12 ile deneysel çalışma düzeneği gösterilmektedir.

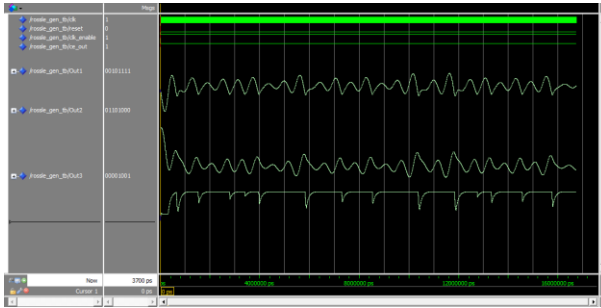


Şekil 11. Quartus programlayıcı.



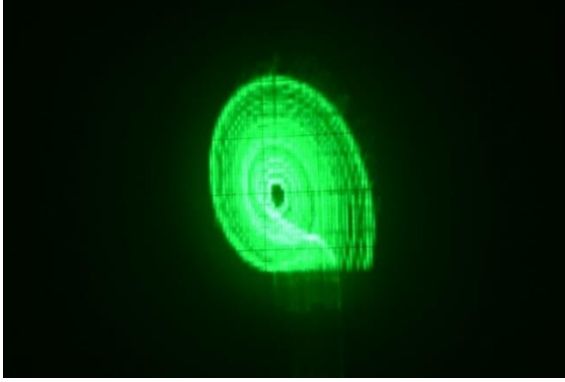
Şekil 12. Altera DE2-115 FPGA geliştirme kartı deneysel çalışması.

HDL kodları elde edilen devre tasarımı istenirse ModelSim programı kullanılarak kod simülasyonu gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilen çalışmada ModelSim programında elde edilen x_1 , x_2 ve x_3 dinamiklerinin zaman domeni gösterimi de Şekil 13'te verilmiştir.

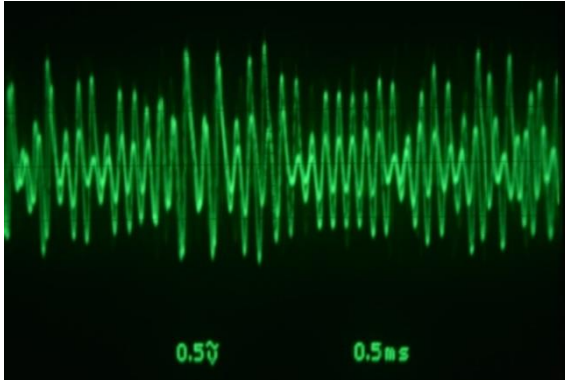


Şekil 13. ModelSim programı ile x_1 , x_2 ve x_3 dinamiklerinin gösterimi.

FPGA kartında çıkış olarak belirlenen pinler DAC0808 entegresi kullanılarak gerçekleştirilen dijital analog çevirici devre ile analog sinyale çevrilir. DK-HSA tabanlı Rössler sistemine ait kaotik çekerin osiloskop görüntüleri, x_1 - x_2 faz uzay gösterimi Şekil 14 (a)'da, x_1 dinamiği zaman domeni gösterimi Şekil 14 (b)'de ve x_2 dinamiği zaman gösterimi Şekil 14 (c)'de gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 14. Rössler sisteminin a) x_1 - x_2 faz uzay gösterimi, b) x_1 dinamiği, c) x_2 dinamiği.

SONUÇ

Kaos tabanlı osilatörlerin sayısal tabanlı tümleşik devrelerde ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş sistemlerin benzetimi ve deneysel uygulamaları gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu uygulamalar ile pasif devre yapıları ile elde edilebilmesi oldukça zor olan kaotik osilatörlerin FPGA tabanlı uygulamaları ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

KAYNAKLAR

- Altun K., Günay E., 2016. Implementation CNN Based Chaos Generator Using Field Programmable Gate Array, International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium'16, Malatya, IEEE.
- Altun, K., 2019. Anahtarlmalı durum kontrollü hücresel sinir ağı tabanlı kaotik osilatör tasarımları ve kaotik haberleşme uygulamaları. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aseeri M., Sobhy M. I., 2002. A new approach to implement chaotic generators based on field programmable gate array (FPGA), Proc. 3rd Int. Conf. Discrete Chaotic Dynam. Nature Soc.,
- Azzaz M. S., Tanougast C., Sadoudi S., Fellah R., Dandache A., 2013. A new auto-switched chaotic system and its FPGA implementation. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 18(7):1792-1804.
- Azzaz M. S., Tanougast C., Sadoudi S., Fellah R., Dandache A., 2013. A new auto-switched chaotic system and its FPGA implementation. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 18(7):1792-1804.
- Kharel R., Busawon K., Aggoune W., Ghassemlooy Z., 2010. Implementation of a secure digital chaotic communication scheme on a DSP board, 212-216. Communication Systems Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP), 2010 7th International Symposium on, IEEE.
- Kolankar P. R., Sakhare S. V., 2014. FPGA Implementation of QPSK modulator by using Hardware Co-simulation. International Journal of Engineering Research and Development, 10(4):86-93.
- Kolankar, P. R., & Sakhare, S. V. (2014). FPGA Implementation of QPSK modulator by using Hardware Co-simulation. International Journal of Engineering Research and Development, 10(4), 86-93.
- Koyuncu, İ., 2014. Kriptolojik Uygulamalar İçin FPGA Tabanlı Yeni Kaotik Osilatörlerin ve Gerçek Rasgele Sayı Üreteçlerinin

Tasarımı ve Gerçeklenmesi. Sakarya Üniversitesi, Doktora Tezi, Sakarya, 145p.

- Saidani T., Atri M., Dia D., Tourki R., 2010. Using Xilinx system generator for real time hardware co-simulation of video processing system, 227-236. *Electronic Engineering and Computing Technology*. Springer.
- Wang Q., Yu S., Li C., Lü J., Fang X., Guyeux C., et al., 2016. Theoretical design and FPGA-based implementation of higher-dimensional digital chaotic systems. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 63(3):401-412.
- Zhang, Y., Liu, Z., & Zheng, X. 2008. A chaos-based image encryption ASIC using reconfigurable logic. In *Circuits and Systems, 2008. APCCAS 2008. IEEE Asia Pacific Conference on IEEE*, pp. 1782-1785.

BÖLÜM 8

MİKRODENETLEYİCİ TABANLI CNC KONTROLÜ VE DÜŞÜK GÜÇLÜ LAZER TASARIMI

Dr. Öğr. Üyesi Didem ALTUN¹, Doç. Dr. Behçet Özgür ALAYDİN²

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Sivas, Türkiye. didemaltun@cumhuriyet.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-1964-3538>

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas, Türkiye. balaydin@cumhuriyet.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-0935-4836>

GİRİŞ

Lazer, on dokuzuncu yüzyıldan itibaren endüstride birçok işlemin yapılmasında kullanılmaktadır. Lazer teknolojisinin endüstride yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedenleri, düşük maliyet, seri üretimde hız ve kaliteli işlem kabiliyeti olarak karşımıza çıkmaktadır (Kovacs ve diğerleri 2006; Tarhan ve Sarıışık, 2009; Yuan ve diğerleri 2012). Son zamanlarda lazer teknolojisi özellikle giyim endüstrisinde kumaş kalıplarının kesilmesinde, modellenmesinde, desen üretiminde, kotların eskitilmesinde ve deride gravür elde etmede kullanılmaktadır (Istook ve Hwang 2001; Simmons ve Istook 2003; Ortiz-Morales ve ark. 2003; Özgüney 2007; Nayak ve Khandual 2010; Bahtiyari 2011). Kumaş sektöründe lazer teknolojisinin kullanılmasıyla özel desen, kalıp ve model fikirlerinin çalınmadan dijital olarak depolanmasıyla endüstrideki önemini artırmıştır (Lucas ve ark. 2015; Kan 2015). Diğer taraftan özellikle kot eskitme yapılmasında lazer teknolojisinin kullanılması sırdan modellerin dışına çıkılmasına ve geleneksel yöntemlerle elde edilemeyen desenlerinde ortaya çıkmasına katkı sağlamıştır. Ayrıca geleneksel kot eskitme yöntemlerinin sağlıksız olması da lazerle kot eskitmenin önemini artırmıştır.

Lazerler, birçok kontrol elemanı ile optik olarak yoğunluğu ve gücü hassas bir şekilde kontrol edilebilen bir enerji kaynağıdır. Lazerler, uygulamanın işlevine bağlı olarak istenen açıyla ve lensler kullanılarak nesneye odaklanabilir. Lazerin odaklanma noktasındaki gücü ile farklı kumaş çeşitlerinden metale kadar çeşitli nesnelere kesilmesinde kullanılabilir (Ondoğan ve diğerleri 2005). Lazer ekipmanlarının yüksek doğruluk, verimlilik ve basitlik gibi birçok avantajı nedeniyle tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Lu ve diğerleri 2010; Sutcliffe ve diğerleri 2000). Tekstil endüstrisinde kullanılan geleneksel ekipmanların örneğin, şerit bıçaklar, diskler ve pistonlu bıçakların hassasiyeti oldukça düşük ve sınırlıdır. Bu sınırlamalar, verimlilik ve düşük maliyet elde etmek için lazer cihazların kullanımını zorunlu kılmıştır. Hassas lazer kesim işlemlerinde, yüksek enerji yoğunluğuna sahip bir noktaya odaklanabilen ışın elde edilir.

Lazerlerin endüstride kontrolü mikrodenetleyiciler, ASIC yapılar, DSP, FPGA ve FPAAs kullanılarak kolayca yapılmaktadır. Gerek hazır bir desenin hızlı bir şekilde seri üretimde basılmasında, gerekse de gerçek zamanlı olarak görüntü işleme kullanılarak bir nesnenin seçim, sıralama, boyama, kalite kontrol gibi işlemlerinde kullanılabilir. Mikrodenetleyiciler ile birlikte lazerler yüksek işleme hızı, yüksek hassasiyet, basit kullanım ve diğer avantajlarla endüstride kullanılabilir. Lazer kontrolü için Mikrodenetleyiciler ile birlikte motor sürücü devreleri, adım motorlar ve diğer tezgah donanımları kullanılmaktadır. Mikrodenetleyicilerin yüksek frekanslardaki işlem kabiliyeti ve yeniden programlanabilir olması endüstrideki farklı görevlerin yeniden tasarımında önemli bir maliyeti ortadan kaldırmaktadır.

Endüstride lazer teknolojisinin kullanım alanının artırılmasında maliyet önemli unsurlardan biridir. Günümüzde kullanılan lazerlerin çoğunun CO₂ lazer olması ve belli güçlere kadar kesme işlemlerine yapabiliyor olmaları işlevlerini sınırlamaktadır. Bu nedenle birim güç miktarının artırılması maliyeti yüksek CO₂ lazerler yerine başka lazerlerin kullanımının önünü açacaktır.

Lazer Teknolojisi

Lazer, uyarılmış radyasyon emisyonu ile ışık amplifikasyonu sağlayan optik düzenek olarak tanımlanır. Lazer, bazı malzemelerde enerji durumlarının değişmesi nedeniyle atomlar tarafından üretilen elektromanyetik bir radyasyondur (Dowden 2009). Daha yüksek enerji durumlarına terfi eden atomlar, “uyarılmış emisyon” olarak bilinen süreçle ışık şeklinde lazer yayar. Daha sonra bu lazer uygun bir lazer ortamında aynalar yardımıyla büyütülmekte ve odaklanmaktadır. Lazer, ekipmandan ışığa benzer bir akış olarak iletilir. Lazerin rengi ışığın dalga boyuna bağlıdır. Bir lazerin dalga boyunu ifade etmek için kullanılan en yaygın birim nanometredir (nm). Bir lazerden yayılan lazer ışığının dört temel özelliği vardır. Bunlar; yoğunluk, tutarlılık, tek renklilik ve kolimasyondur. Lazerde ışının birim alanı başına yüksek bir enerji konsantrasyonu mevcuttur. Bir lazer ışını, 1-2 mm ışın çapı ve birkaç miliwatt (mW) çıkış gücü ile çok yüksek yoğunlukta olabilir.

Yoğunluk, güç çıkışı/alanından tahmin edildiğinden, yüksek yoğunluğa sahip ışığa rağmen tüm lazerler güçlü değildir. Bazı endüstriyel uygulamalarda maliyet analizi yapıldığında yüksek güçlü lazer kullanımı ekonomik olmamaktadır. Bu problemin ortadan kaldırılması için lazer çıkışlarının odaklanarak ışın yoğunluğunun artırılması gerekmektedir. Bu incelemede de düşük güçlü bir lazerin kumaş kesiminden ve desen üretiminde kullanılabilmesi için yöntemler aranmış ve optik odaklama ile bu problemin azaltılabileceği düşünülmüştür.

Hazır Giyim Endüstrisinde Lazerin Uygulamaları

Hazır giyim endüstrisinde lazer kullanımı çoğunlukla kesme ve kazıma olarak kullanılmaktadır (Choudhury ve Shirley 2010; Nayak ve Khandual 2010). Lazer teknolojisi ayrıca kumaş üzerindeki hataların tespitinde ve tekrarlanan desenlerin kontrolünde de kullanılmıştır. (Mallik Goswami ve Datta 2000; Ribolzi ve ark. 1993; Mursalin ve ark. 2005). Kumaş üzerindeki desen ve hataların analizinde görüntü işleme yapılarak dikine ve enine analiz yapılmaktadır. Görüntüyü yakalamak için kameralar kullanılmaktadır. Elde edilen veriler tümleşik yapılarda yüksek frekanslarda mikroişlemciler kullanılarak işlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre karşılaştırma bir bilgisayara aktarılır ve saklanır. Bilgisayar programlaması, görüntüyü binary dönüştürür, elde edilen görüntülerin saklanan görüntülerle karşılaştırılmasında yardımcı olur.

Diğer taraftan lazer soldurma teknolojisinin kot kumlama işinin yerini almaktadır (Ortiz-Morales ve ark. 2003; Tarhan ve Sarıışık 2009). Lazer soldurmada, bilgisayar kontrollü lazer ışınını işaretleme veya soldurmanın gerekli olduğu bölgeye odaklandırılır. Soldurma işlemlerinde katı bazlı (1 μm dalga boyu) ve gaz bazlı (10 μm dalga boyu) lazer kullanılmaktadır. İstenilen soldurma derecesine bağlı olarak lazer ışınının dalga boyu, güç yoğunluğu ve darbe genişliği belirlenir. Tüm bu işlemler önceden programlanmış Mikrodenetleyiciler yardımıyla gerçekleştirilir. Lazerle soldurma, asitle yıkama veya kumlama ile karşılaştırıldığında daha çevre dostudur (Kan ve ark. 2010). Lazer kullanımı ile kumaşta üç boyutlu nakış, kabartma, belirgin kesikler vb. efektler üretilebilir. Bu efektlerin yapımında

mikrodenetleyiciler kullanılarak lazerin modu, gücü, frekansı, açısı, darbe süreleri kontrol edilerek yüzeye istenilen desen aktarılır. Mikrodenetleyici kontrollü lazer kullanımı ile geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında; mekanik temas olmadığından yüksek çalışma hızlarına, aşınma ve yıpranma olmadan ulaşabilmeleri üretim maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

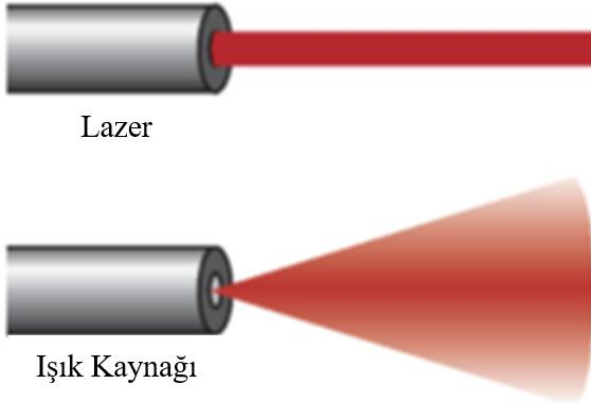
Mikrodenetleyici Tabanlı CNC Kontrol Sistemi

CNC, mikrodenetleyici tabanlı makine kodlarını (g-kodu) sensörler ve adım motorlar vasıtasıyla işleyen bir kontrol sistemidir. CNC sistemleri endüstride birçok işlemi mekatronik prensibine dayalı olarak hızlı bir şekilde gerçekleştirir. CNC lazer makinalarında X, Y ve Z eksen olmak üzere kontrol edilen üç eksen vardır. Desen veya kesme işleminin durumuna göre iki eksenli veya 3 eksenli çalışma gerçekleştirilebilir. CNC lazerlerde CO₂ tabanlı kaynak lazer kullanılır. CO₂ lazer, çelik, alüminyum ve demir dışı uygulamalar için endüstriyel kesimde yaygın olarak kullanılır. Lazerin darbe sinyallerinin kontrolü ise mikrodenetleyici tabanlı kontrol kartları ile gerçekleştirilir. Lazer darbeleri PWM sinyalleri kullanılarak gerçekleştirilir.

Mikrodenetleyiciler, üretim sistemlerinde gerek güç tüketiminin azaltılmasında gerek maliyetin azaltılmasında önemli kontrol üniteleri olarak kullanılmaktadır. Endüstride birçok kontrol sisteminin süreç denetimi ve cihaz kontrolleri mikrodenetleyiciler ile gerçekleştirilmektedir. Mikrodenetleyicilerin bu görevleri yerine getirirken yüksek frekanslarda çalışabilmeleri, giriş-çıkış sayılarının yeterli olması, analog ve dijital sinyalleri kontrol edilmesi ve verileri işleyebilmesi gibi birçok parametre ile ayrışır. Bu nedenle tasarlanacak kontrol ünitesi için mikrodenetleyici seçim ve dizaynı oldukça önemlidir. Kullanılacak sürücü devresinin çektiği akım, uygulanması gereken gerilim gibi birçok elektriksel parametre mikrodenetleyicide kullanılacak mikroişlemcinin seçimini sınırlar. Mikrodenetleyiciler temel bileşenlerini koruyarak yeni çevre birimleri eklenerek farklı amaçlar için kullanılan mimarilere dönüşürler. Mikrodenetleyiciler genellikle belirli amaçlar için tasarlanır ama yine de esnek, yeniden yapılandırılabilir yapılarıyla oldukça kullanışlı hale gelirler.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada 15W gücüne sahip CO₂ tabanlı lazerin mercekler kullanılarak odak alanını azaltılmasıyla yoğunluğunun artırılması amaçlanmıştır. Elde edilen düşük güç ve yüksek yoğunluklu lazerin kumaş ve derinin kesiminde kullanılması planlanmıştır. CO₂ lazer doğası itibariyle eliptik ışın geometrisine sahiptir. Bu nedenle lazer ışınması uzaklığa bağlı olarak hızlı bir biçimde saçılmaktadır. Saçılma nedeni ile birim alan üzerine düşen lazer enerjisi azalmış ve kesim için gerekli enerji elde edilememiştir. Çalışmada önerilen lazerin kesim işlemleri için yeterince güce sahip olmaması nedeni ile gücün artırılması harici lensler kullanılarak yapılacak ve lazer ışınması 10 µm yarıçapına kadar odaklanacaktır. Bunun için de odaklama lensler lazerin önüne monte edilmiştir. Mercek montajı yapılmadan ve yapıldıktan sonra elde edilen lazer ışınının saçılması Şekil.1'de verilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen çalışmada koruma gözlüğü takılarak deneysel uygulamalar yapılmıştır.

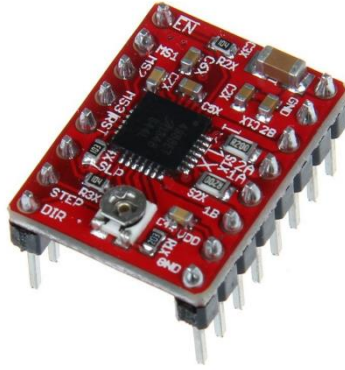


Şekil-1 : Işık kaynağı ve mercek eklendikten sonra elde edilen Lazer.

Optik lens montaj işleminde harici tutucu aparatlar kullanılmıştır. Böylelikle kesme işlemi esnasında lazer ve tutucular CNC2418 tezgahına sabitlenmiştir. Önerilen mercek odaklama yöntemi kullanılsaydı ürünlerin işlenebilmesi için 100 W üzerinde lazer kullanılması gerekmektedir. Şekil 1'de ışık kaynağının saçılmaları

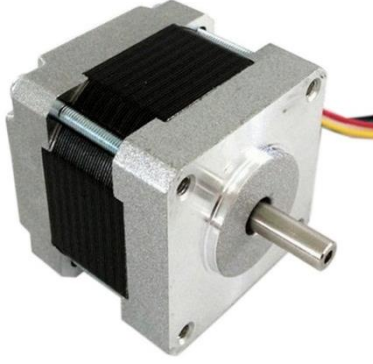
yoğunluğu düşük bir enerji yaydığı görünmektedir. Böylelikle ışık dalgalarının tüm yönlerde rastgele yayıldığı gözlemlenebilir. Ancak optik lens ile odaklanan lazer, dalgalar yayılırken aynı fazda oldukları için yoğunluğu yüksek optik ışın olarak yayılmaktadır. Böylelikle lazer uzun bir mesafe kat ettikten sonra bile yüksek yoğunluğa ulaşmasına yardımcı olur. Işın optik lens yardımıyla bir nokta olarak odaklanıldığında, ışının enerji konsantrasyonu artırılmış olur.

CNC makinaları endüstride; imalat sektöründe kullanılan ve takım tezgahlarını kontrol etmek için bilgisayarlı kontrol üniteleriyle kullanılmasını içeren bir üretim metodudur. Bu şekilde kontrol edilebilen araçlar arasında torna tezgahları, değirmenler, yönlendiriciler ve öğütücüler de bulunur. CNC tezgahları, mikrodenetleyicilerle kontrol edilebilen robot gibi çalışmaktadır. CNC tezgahlarında takım tezgahları sürücü devreleri ile kontrol edilmektedir. Çalışmada Şekil.2’de verilen A4988 tabanlı mikro kademeli motor sürücüleri kullanılmıştır.



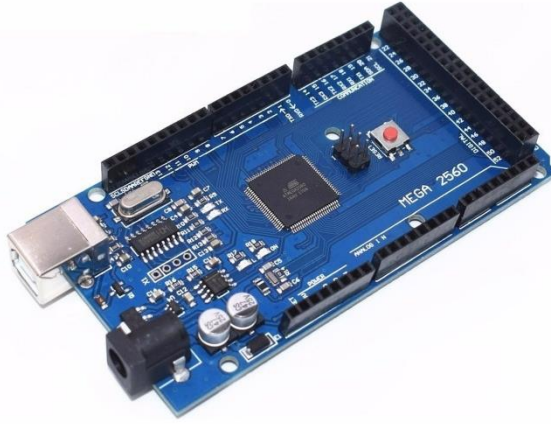
Şekil-2 : A4988 Motor Sürücüsü.

Lazer kesme makinasında kullanılan CNC tezgahında G kodu olarak bilinen bir programlama dili kullanılmıştır. Bu program ile herhangi bir teçhizat veya donanım özelleştirilebilir, besleme gücü, konumu ve hızı kontrol edilebilir. Bu çalışmada Şekil.3’de verilen adım motorlar kullanılarak lazerin X, Y, Z konumu G kodu ile kontrol edilmiştir.



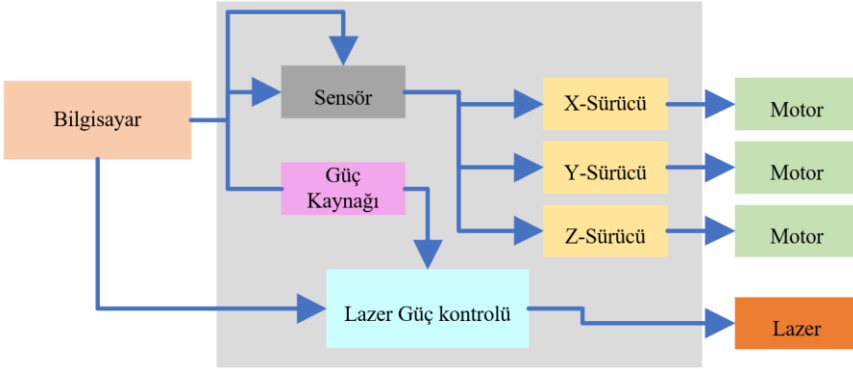
Şekil-3 : Adım motor.

CNC'ye bağlı lazerin X, Y, Z konumlarının belirlendiği eksen motorları Şekil.4 ile verilen ATMEGA 2560 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Mikrodenetleyici ile bilgisayar aracılığıyla aygıtların tam konumlandırmaları ve hızı kontrol edebilir.



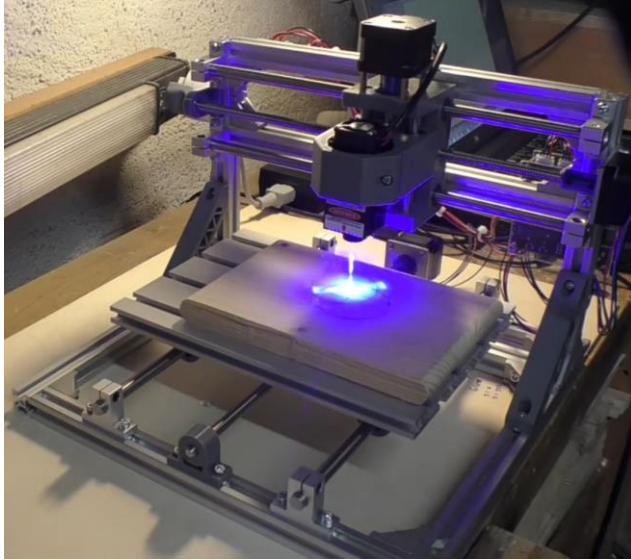
Şekil-4 : Arduino ATMEGA 2560.

Çalışmada CNC teknolojisinden ve mikrodenetleyici ile lazer gücü kontrolünden yararlanarak kumaş ve deri üzerine desen çıkarma amaçlanmaktadır. Bu projenin gerçekleştiriminde gücü kontrol edilebilir lazer ve iki eksenli adım motorlar kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmanın temel blok diyagramı Şekil.5 ile verilmiştir.



Şekil-5 : Lazer kontrol ünitesi blok diyagramı.

Adım motorlar, A4988 tabanlı mikro kademeli motor sürücüleri ile güç kontrolü sağlanmıştır. Sistemin tüm kontrolü Arduino ATMEGA 2560 mikrodenetleyicisinden faydalanılmıştır. Arduino, günümüzün en popüler açık kaynaklı donanım yapılarındandır. Arduino, bilgisayarda çalışan G kodu derleyicisini UART üzerinden çalıştırma komutlarını step motor sürücülerine vermektedir. Gerçekleştirilen projenin çalışma esnasında alınan bir görüntüsü Şekil.6’da verilmektedir.



Şekil-6 : Mikrodenetleyici tabanlı CNC tezgahında odaklanmış Lazer kontrolü.

SONUÇ

Çalışma düşük güçlü lazerin optik lens yardımıyla yoğunluğunun artırılmasını amaçlamıştır. Ayrıca elde edilen düşük güç yüksek yoğunluklu lazerin mikrodenetleyicilerle kontrolünün sağlanması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen uygulama ile kumaş ve deri gibi malzemelerin kesim, desen işleme ve eskitme süreçleri düşük maliyetlerle sağlanmıştır. Lazerin özellikle kumaş endüstrisine girmesiyle mekanik süreçlerin yerini lazer teknolojisinin alması olağandır. Ancak bu teknolojik adımın küçük işletmelerde kullanımının önün açılmasının sağlanması düşük güçlü lazerlerin verimlerinin artırılmasına ve kolay kontrol edilebilmesine bağlıdır. Çalışma bu amaçlar için bir örnek teşkil etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından SMYO-2021-032 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Bahtiyari, M. (2011). Laser modification of polyamide fabrics. *Optics & Laser Technology*, 43, 114–118.
- Choudhury, I., & Shirley, S. (2010). Laser cutting of polymeric materials: an experimental investigation. *Optics & Laser Technology*, 42, 503–508.
- Dowden, J. (2009). *The Theory of Laser Materials Processing: Heat and Mass Transfer in Modern Technology*. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Istook, C. L., & Hwang, S.-J. (2001). 3D body scanning systems with application to the apparel industry. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 5, 120–132.
- Kan, C. (2015). Washing techniques for denim jeans (p. 313). *Denim: Manufacture, Finishing and Applications*.
- Kovacs, L., Zimmermann, A., Brockmann, G., Gühring, M., Baurecht, H., Papadopulos, N., et al. (2006). Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner. *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery*, 59, 1193–1202.
- Lu, J.-M., Wang, M.-J. J., Chen, C.-W., & Wu, J.-H. (2010). The development of an intelligent system for customized clothing making. *Expert Systems with Applications*, 37, 799–803.
- Lucas, J., Belino, N., Miguel, R., Pereira, M., & Ribeiro, L. (2015). Digital printing techniques for denim jeans (p. 287). *Denim: Manufacture, Finishing and Applications*.
- Mallik-Goswami, B., & Datta, A. K. (2000). Detecting defects in fabric with laser-based morphological image processing. *Textile Research Journal*, 70, 758–762.
- Mursalın, T. E., Eishita, F. Z., & Islam, R. (2005). Fabric defect inspection system using neural network and microcontroller. *Statistics*, 50, 100.
- Nayak, R., & Khandual, A. (2010). Application of laser in apparel industry. *Colourage*, 57, 85–90.
- Ondogan, Z., Pamuk, O., Ondogan, E. N., & Ozguney, A. (2005). Improving the appearance of all textile products from clothing

- to home textile using laser technology. *Optics and Laser Technology*, 37, 631–637.
- Ortiz-Morales, M. N., Poterasu, M., Acosta-Ortiz, S. E., Compean, I., & Hernandez-Alvarado, M. R. (2003). A comparison between characteristics of various laser-based denim fading processes. *Optics and Lasers in Engineering*, 39, 15–24.
- Ozguney, A. T. (2007). The comparison of laser surface designing and pigment printing methods for the product quality. *Optics and Laser Technology*, 39, 1054–1058.
- Ribolzi, S., Merckle, J., Gresser, J., & Exbrayat, P. (1993). Real-time fault detection on textiles using opto-electronic processing. *Textile Research Journal*, 63, 61–71.
- Simmons, K. P., & Istook, C. L. (2003). Body measurement techniques: comparing 3D body-scanning and anthropometric methods for apparel applications. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 7, 306–332.
- Sutcliffe, H., Cooper, M., & Farnsworth, J. (2000). An initial investigation into the cleaning of new and naturally aged cotton textiles using laser radiation. *Journal of Cultural Heritage*, 1, S241–S246.
- Tarhan, M., & Sarıışık, M., (2009). A comparison among performance characteristics of various denim fading processes. *Textile Research Journal*, 79, 301–309.
- Yuan, G. X., Jiang, S. X., Newton, E., Fan, J. T., & Au, W. M. (2012). Application of laser treatment for fashion design. *Journal of the Textile Institute*, 103, 48–54.



ISBN: 978-625-8213-70-6