

Sahibi / Owner

Dr. İbrahim USLAN

Genel Yayın Yönetmeni / General Publication Director

Dr. Bünyamin CİYLAN

Editör / Editor

Dr. Bünyamin CİYLAN

Alan Editörleri / Field Editors

Dr. Hacer KARACAN

Dr. M. Rahmi CANAL

Dr. Mehmet ATAK

Dr. Necmi ALTIN

Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Dr. Süleyman TOSUN

Dr. Neslihan GÖKTÜRK

Dr. Tarek BEJAOUİ

Yayın Kurulu / Editorial Board

Dr. Dimitrios KARAMANIS, University of Western Greece, Yunanistan

Dr. Eleonora GUSEINOVİENE, Klaipeda University, Litvanya

Dr. Erdoğan DOĞDU, TOBB ETÜ Üniversitesi, Türkiye

Dr. Fawzi M. AL-NAİMA, University of Bagdat, Irak

Dr. Türksel KAYA BENGSHİR, TODAİE, Turkey

Dr. Filippo NERI, University of Naples Federico II, İtalya

Dr. Güngör BAL, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Dr. Hasan OĞUL, Başkent Üniversitesi, Türkiye

Dr. Hüseyin HIZIROĞLU, Kettering University, ABD

Dr. Kasim Mousa Alwan AL-AUBİDY, Philadelphia University, ABD

Dr. M. Ali AKCAYOL, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Dr. Metin GÜRÜ, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Dr. Mohammad N. A. HAWLADER, International Islamic University, Malezya

Dr. Recep DEMİRCİ, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Dr. Robert BELOIU, Pitești University, Romanya

Dr. Saqib JAVED, Chalmers University of Technology, İsveç

Dr. Timothy TEO, The University of Auckland, Yeni Zellanda

Dr. Youcef SOUFI, University of Tébessa, Cezayir

Teknik Koordinatör / Technical Coordinator

Arş. Gör. M. Hanefi CALP, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Bilişim Teknolojileri Dergisi hakemli bir dergidir.

Journal of Information Technologies is a refereed journal.

Bilişim Teknolojileri Dergisi 3 ayda bir yayınlanmakta olup EBSCO, ULAKBİM ve Google Scholar tarafından taranmaktadır.

Journal of Information Technologies is published every 3 months and indexed by EBSCO, ULAKBİM and Google Scholar.

Yazışma Adresi / Contact Address

Tunus Cad. No: 35 Kavaklıdere Çankaya / ANKARA

Telefon/Telephone: 0312 202 38 01 - Faks/Fax: 0312 212 79 29 - e-posta/e-mail : btd@gazi.edu.tr

Çevrimiçi Hakem Değerlendirme Sistemi / Online Referee Evaluation System: <http://dergipark.gov.tr/gazibtd>

ISSN:1307-9697 / e-ISSN: 2147-0715

EKİM 2017 / OCTOBER 2017

Bilişim Teknolojileri Dergisi

Amaç ve Kapsam

Bilişim Teknolojileri Dergisi orijinal ve yenilikçi araştırma sonuçlarını yayınlamaktadır. Bu dergi, bilişimin farklı alanlarındaki uzman ve akademisyenler için bir ortamdır. Buna ilaveten, bilgisayar ile ilgili konuların geniş uygulamalarına da bu anlamda açığız. Bu dergiye gönderilecek makaleler, aşağıdaki birkaç alt alanların (en azından) birinden olabilir.

- Adli Bilişim
- Bilgisayar Bilimleri
- Bilişim Sistemleri
- Sağlık Bilişimi
- Yönetim Bilişim Sistemleri
- Siber Güvenlik

Bilişim Teknolojileri Dergisi'nin her geçen gün kendini yenileyen bilişim teknolojileri alanındaki akademisyenler ve profesyonellere temel bir kaynak niteliğinde olması amaçlanmıştır. Dergiye gönderilecek makaleler; **Türkçe veya İngilizce** kabul edilmektedir. Eğer, gönderilecek makale Türkçe ise; başlık, özet ve anahtar kelimelerin İngilizcesi mutlaka olmalıdır.

Dergiye gönderilen materyaller; başka bir yayın, konferans bildirileri vb. gibi yerlerde daha önce yayınlanmamış veya kabul edilmemiş orijinal araştırmaları içermelidir.

Bu derginin değerlendirme politikasına göre, gönderilen her bir makale, kurulda verilen ilgili alt alan editör tarafından en az üç bağımsız hakeme gönderilmektedir. Bu bir hakem değerlendirme sürecidir; bu yüzden, **unvan ve yazarların isimleri** kağıdın değerlendirme sürümüne **dahil edilmemelidir**.

Dergi, makaleleri sadece online sistemi yoluyla <http://dergipark.gov.tr/gazibtd> sitesinden kabul etmektedir. E-mail ile gönderilen makaleler kabul edilmemektedir.

International Journal of Informatics Technologies

Aim and Scope

Journal of Informatics Technology (JIT) publishes novel and innovative research results. This journal is a multidisciplinary forum for experts and academicians from different fields of informatics. In addition, wide applications of computer-related topics are also welcome in that sense. The papers submitted to this journal can be in (at least) one of the several subfields below:

- Computer Forensic
- Computer Sciences
- Informatics Systems
- Health Informatics
- Management Informations Systems
- Cyber Security

This journal aims to be a good forum for the academicians and vocational professionals and wishes to be one of the basic sources of knowledge on this area. All papers submitted to this journal must be written in Turkish or English with a English title, abstract and Keywords. The submitted materials to this journal must contain original researches, which was not published before or has not been considered in another publication, conference proceedings, etc...

According to the review policy of this journal, each submitted paper would be send to at least three independent referees by the associate editor of the relevant subfield, which is given in the committes. This is a **peer-review** process, thus **the titles and names** of the authors **would not be included** in the review version of the paper.

The journal only receives the papers via its specific online system from <http://dergipark.gov.tr/gazibtd>. No e-mail submission is accepted.

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Bilgisayar Donanım Öğretimi için Artırılmış Gerçeklik Materyalinin Geliştirilmesi ve Etkililiğinin İncelenmesi / Sayfalar: 353-362

Kağan GÜL, Sami ŞAHİN

Hidroelektrik Santrallerde Vardiya Çizelgeleme Problemleri İçin Hedef Programlama Yaklaşımı / Sayfalar: 363-370

Evren Can ÖZCAN, Emre VARLI, Tamer EREN

3D Printer Selection by Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and PROMETHEE / Sayfalar: 371-380

Cihan ÇETİNKAYA, Mehmet KABAK, Eren ÖZCEYLAN

Kurumsal Kolektif Süreçler için E-Posta İletilerinden Görev Keşfi ve Gerçek Zamanlı Görev Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi / Sayfalar: 381-388

Halil ARSLAN, Oğuz KAYNAR, Ahmet Gürkan YÜKSEK

Optimizasyon Tabanlı Adaptif Görüntü Mozaikleme Algoritması / Sayfalar: 389-400

Mehmet KARAKÖSE, Hasan YETİŞ, Taha MÜEZZİNOĞLU

Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi / Sayfalar: 401-415

Tarık İÇTEN, Güngör BAL

Bütünleşik SWARA - COPRAS Yöntemi Kullanarak Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcılarının Değerlendirilmesi / Sayfalar: 417-434

Engin ÇAKIR, Büşra KUTLU KARABIYIK

Arduino ve Wifi Temelli Çok Sensörlü Robot Tasarımı Ve Denetimi / Sayfalar: 435-449

Abdulkadir KARACI, Mustafa ERDEMİR

Enerji Tasarruflu Bina Tasarımı İçin Isıtma ve Soğutma Yüklerini Regresyon Tabanlı Makine Öğrenmesi Algoritmaları İle Modelleme / Sayfalar: 443-449

Musa PEKER, Osman ÖZKARACA, Betül KESİMAL

Baz İstasyonu Ölçümlerinin Konuma Bağlı Olarak Gerçek Zamanlı Kaydedilmesine Yönelik Arayüz Geliştirilmesi / Sayfalar: 451-460

Mehmet DEMİRTAŞ, Ahmet BİBİ

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Olasılıksal Kapsama Oranının Optimizasyonu için Yeni Bir Meta-Sezgisel Yaklaşım / Sayfalar: 461-473

Recep ÖZDAĞ

İki Aşamalı Kümeleme Analizi ile Bireysel Emeklilik Sektöründe Müşteri Profiline Değerlendirilmesi / Sayfalar: 475-485

ZEYNEP CEYLAN, Samet GÜRSEV, Serol BULKAN

Bilgisayar Donanım Öğretimi için Artırılmış Gerçeklik Materyalinin Geliştirilmesi ve Etkililiğinin İncelenmesi

Kağan GÜL¹, Sami ŞAHİN²

¹Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

kagangul@hotmail.com, sami@gazi.edu.tr

(Geliş/Received:03.01.2017; Kabul/Accepted:20.09.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.347604

Özet— Bu araştırmanın amacı artırılmış gerçeklik (AG) kullanımının bilgisayar donanım öğretiminde başarı üzerine etkisini test etmek ve öğrencilerin ve öğretmenlerin görüşlerini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda bilgisayar donanım öğretiminde kullanılmak üzere AG materyalleri geliştirilmiştir. Araştırmanın örneklemini bilgisayar programcılığı bölümünde okumakta olan 122 öğrenciden oluşmuştur. Araştırmada nicel veriler başarı testi ve AG görüş anketi ile nitel veriler ise öğrenciler ve öğretmenler ile görüşmeler yapılarak toplanmıştır. Sonuç olarak AG kullanılan deney grubu öğrencilerinin başarıları karşılaştırma grubu öğrencilerinin başarılarından anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur. AG öğrenme materyalini kullanan deney grubu öğrencilerinin AG kullanımına yönelik ilgi, kaygı ve memnuniyet durumlarını belirlemek amacıyla yapılan AG görüş anketinden elde edilen verilerin olumlu yönde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda öğrenciler ile yapılan görüşmelerden elde edilen bulgular da öğrencilerin AG kullanımını genel olarak olumlu bulduklarını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler— Artırılmış gerçeklik, bilgisayar donanım öğretimi

Development of Augmented Reality Materials and Examination of Efficacy for Computer Hardware Education

Abstract— The aim of this study is to test the effect of the use of Augmented Reality (AR) learning material on success in computer hardware instruction and to examine the views of students and instructors on AR usage. For this purpose, learning material was developed to use in computer hardware instruction. The research sample consisted of 122 students who are studying in computer programmer. In this study quantitative data were collected by the achievement test and AR survey while the data were qualitative by means of interviews with students and instructors. According to results obtained from research, the success of the students in experimental group using AR learning material is significantly higher than the success of the students in comparison group. It was concluded that the data obtained from the AR opinion survey conducted to determine the interest, anxiety and satisfaction levels of the AR students in the experimental group using AR learning material were positive. Also, findings obtained from interview with students showed that students generally feel positive about AR usage.

Keywords— Augmented reality, AR learning material

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojik gelişmeler insanların yaşamını önemli ölçüde etkilemekte [1] ve bilişim teknolojileri ile insanlar her türlü bilgiye erişebilme gücüne sahip olmaktadır. Bu nedenle bilgiyi ezberleyen bireyler yerine bilgiyi üreten, gerekli olan bilgiye ulaşabilen ve doğru bir şekilde kullanabilen bireylere ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Diğer taraftan teknolojiyi eğitim sürecine katmak tek başına yeterli değildir. Öğretmenlerin teknoloji kullanımı hakkında yeterli bilgi ve beceriye sahip olması gerekir [3]. Teknoloji sayesinde eğitim ortamlarını etkin ve

verimli kullanabilmek için öğretmenlerin teknolojiyi amacına uygun biçimde kullanma yeteneklerine sahip olması önemlidir [4]. Bu nedenle öğretmenlerin teknolojiyi yakından takip etmeleri ve teknolojinin olumlu yönlerini eğitim ortamında kullanabilmesi gerekmektedir.

Son yıllarda hızla gelişen donanım, yazılım ve ağ teknolojileri o kadar çok kullanım alanına sahip oldu ki eğitim hizmetlerinin bu alan dışında kalması düşünülememektedir [5]. Eğitim alanında kullanılacak olan teknolojilerin artması ile eğitimcilerin de bu teknolojileri tanıması ve kullanabilmesi konusunda

önemli bir rolü üstlenmeleri gerekmektedir. Bu amaçla eğitimcilerin teknolojik gelişmeleri takip ederek alanlarına uygun teknolojileri kullanmaya önem göstermeleri gerekmektedir.

Sanal materyallerin kullanılması günümüz teknolojisi sayesinde önemli ölçüde değer kazanmaya başlamıştır. Sanal materyaller arasında video ve animasyonlar önemli bir yere sahiptir. Videolar sayesinde öğrenciler öğrenmeleri gereken bilgileri eğitim ortamlarına ihtiyaç duymadan tekrar yaparak bilgilerini taze ve kalıcı tutabilirler. Diğer taraftan animasyonlar sayesinde ise öğrenciler içerik ile etkileşiminde bulunabilirler. Öğrenciler soyut kavramları somutlaştırabilecek ve öğrenmelerini daha etkili bir hale getirebileceklerdir. Eğitimin hedefleri doğrultusunda hazırlanan animasyon ve videolar ile destekli materyaller sayesinde öğrencilerin bilgilere karşı merak duygularının artması da sağlanmış olacaktır. Bu durumun sonucunda ise kavramların öğrenilmesi ve hatırlanması kolaylaşacaktır.

Bilgisayarlar öğretim faaliyetlerinde en fazla kullanılan teknolojik araçlardan olmuştur. Ancak bilgisayarların plansız kullanımı faydanın yanında zarar da getirebilmektedir. Bu yüzden amacına uygun planlanmalıdır [6]. Eğitimciler eğitim yazılımları kullanarak öğrencilerine zengin bir öğrenme ortamı sağlamış olurlar. Bu amacı gerçekleştirmeye yönelik güncel yazılımlardan biri de artırılmış gerçekliktir. AG öğrencileri geleneksel sınıf ortamından uzaklaştırıp, alışlagelmiş bilgisayar teknolojisinin aksine, gerçek objeler ile gerçek zamanlı etkileşim kurmalarını sağlar [7]. Artırılmış gerçeklik gerçek nesnelerin bilgisayar ortamında sanal nesnelere ile birleşmesini sağlayan bir teknolojidir. Kamera ile gerçek nesnelerin üzerlerine resim, video veya metin gibi sanal nesnelerin yerleştirilmesini sağlar. Böylece kamera özelliğine sahip bilgisayar veya mobil cihazlar kullanılarak bakılan bir nesneye içerikler bütünleştirilerek görüntülenmektedir. AG'nin en önemli avantajı görselleştirme olanağıdır. Bu sayede 3 boyutlu görselleştirmeler yolu ile ders içerikleri geliştirilebilmektedir. Ders içeriklerinin 3 boyutlu görsellerden oluşması öğrencilerin nesnelere zihinlerinde gerçekmiş gibi algılayarak döndürme ve çevirmesine imkân sağlamaktadır [8]. Bu özelliği sayesinde gerçek dünyada oluşturulması zor olan ortamların öğretimi uygun hale getirilmektedir [9].

Artırılmış gerçeklik üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda birçok alanda AG'nin kullanıldığını göstermiştir. Mimarlık, Askeri Okullar ve Tıp alanlarının yanı sıra eğitim öğretimde Matematik, Geometri, Fizik, Kimya ve İngilizce gibi derslerde de artırılmış gerçeklik uygulamaları kullanılmıştır. Eğitim öğretimde kullanılan artırılmış gerçeklik uygulamaları genel olarak öğrencilerin öğrenme başarısı üzerine etkisini araştırmaya yöneliktir. Çetinkaya ve Akçay artırılmış gerçeklik uygulamalarının eğitimde kullanım alanlarını ve yapılan çalışmaları inceleyerek ortaya koymuştur [10]. Buna göre çalışmalar artırılmış gerçekliğin öğrenmeyi destekleyen bir unsur olduğunu göstermektedir. Artırılmış gerçeklik

öğrencilerin derse yönelik tutum, motivasyon, ilgi, dikkat, güven ve memnuniyet gibi sağlıklı bir eğitim ortamını oluşturan değişkenleri etkilemesi açısından da önemli bulunmuştur.

Bu çalışmanın amacı; bilgisayar donanımı öğretiminde, bilgisayar donanımını oluşturan parçaların, laboratuvar ortamında uygulama yapılarak öğretilmesine alternatif bir yöntem oluşturmaktadır. Artırılmış gerçeklik teknolojisi kullanılarak geliştirilen öğretim materyali ile laboratuvar ortamına olan ihtiyacı azaltarak öğrencilerin kendi kendilerine uygulama yapıp öğrenebilecekleri bir alan oluşturulacaktır.

2. ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK (AUGMENTED REALITY)

Artırılmış gerçeklik, gerçek nesnelerin sanal nesnelere ile eş zamanlı görüntülenmesini sağlayan bir teknolojidir [11]. Bir başka deyişle gerçek dünyanın sanal dünyaya ile bütünleşmesidir. Aynı zamanda bilgisayarda oluşturulan sanal nesnelerin teknolojik araçlar sayesinde insan bilincinde gerçek hissini veren ve bu his ile etkileşimde bulunmasını sağlayan bir teknolojidir [12]. AG, gerçekliğin baştan oluşturulması değil var olan bir gerçekliğin sanal ortamlar yoluyla desteklenmesidir [13]. AG, gerçek dünyanın bilgisayar sayesinde ses, görüntü, grafik ve GPS verileriyle birleşmesinden oluşan doğrudan veya dolaylı fiziksel görünümüdür. Bu sebeple gerçeklik algısı bilgisayar sayesinde artırılmıştır.

Günümüzde AG teknolojisinin eğlence, üretim, mühendislik, tıp ve eğitim gibi birçok alanda kullanımı yaygınlaşmıştır. Literatürde artırılmış gerçekliği açıklayan tanımlarda sanal nesnelere ifadesi geçtiğinden dolayı artırılmış gerçekliğin sanal gerçeklik ile karıştırıldığı görülmektedir. Sanal gerçeklik gerçek olmayan ama insan bilincinde gerçeklik hissi veren bir sistemden meydana gelmektedir. Bir başka deyişle, gerçek dünya ortamının bilgisayarlar vasıtasıyla sanal ortamlarda oluşturulmasıdır [11]. Var olan gerçeklik yerine, gerçeklik hissi veren kurgusal bir sistemdir. Gerçek dünyaya bilgisayarlar tarafından oluşturulan sanal eklentiler (ses, video, grafik) ile insanların gerçeklik hissini artırmayı yani zenginleştirmeyi amaçlayan bir sistemdir. Sanal gerçeklikte insan gerçeklikten soyutlanarak bilgisayar ile oluşturulmuş gerçek olmayan bir ortamdadır [14]. AG'de ise insan sanal nesnelere ile birleştirilmiş gerçek bir ortamdadır. Milgram ve Kishino, AG'nin gerçek ve sanallık arasındaki yerini belirlemek amacıyla oluşturmuş olduğu basitleştirilmiş gerçeklik sanallık diyagramını Şekil 1' de gösterilmiştir [7].



Şekil 1. Gerçeklikten sanallığa geçiş diyagramı (Simplified representation of a "virtuality continuum".)

Şekil 1 incelendiğinde diyagramın soluna doğru gidildikçe gerçeklik artmaktadır. Bununla birlikte gerçek ortama eklenen sanal eklentiler sayesinde artırılmış gerçeklik meydana gelmektedir. Diyagramın sağına doğru gerçek ortamın hissini vermek amacıyla sanal nesnelerin oluşturduğu bir ortam oluşmaktadır. Sanal ortama gerçek nesnelerin eklenmesi ile de artırılmış sanallık meydana gelmektedir.

2.1. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Eğitimde Kullanılması (The Using Of Augmented Reality Technology In Education)

Artırılmış gerçeklik uygulamaları birçok alanda kullanılmasıyla son yıllarda eğitim alanında da kullanılmaya başlanmıştır [15]. Artırılmış gerçeklik teknolojisi öğrencilerin ufkunu açarak daha fazla duyu organlarını kullanmalarını sağlayıp ilgi ve merak gibi kavramları arttırmaya yardımcı olmaktadır [16]. AG teknolojisi ile eğitim öğretim ortamı birleştirildiğinde, kullanılan yeni teknoloji sayesinde öğrencilerin derse karşı ilgilerini çekerek öğrenme sürecinde aktif rol almaları ve aynı zamanda yaparak ve yaşayarak öğrenmeleri sağlanabilir [17].

Eğitimde artırılmış gerçeklik gerçek ortamda birden fazla duyu organına hitap edebilecek içerikler oluşturmak için sanal ortamın gerçek ortam ile bütünleştirilmesidir [18]. Öğrencilerin öğrenme sürecinde eğlenmeleri ve öğrenme sürecine aktif olarak katılmaları etkili öğrenmeyi desteklemektedir. Artırılmış gerçeklik uygulamalarıyla öğrenci ile gerçeklik etkileşimi de artmaktadır [17]. Öğrenciler öğrenmede aktif rol alabilmektedirler [19].

Artırılmış gerçekliğin eğitimde birçok faydası olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Bu faydaların bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Öğrencinin yaratıcılık ve hayal gücünün gelişmesine yardımcı olur. Gerçek dünyaya algısını ve gerçek dünya ile etkileşimini artırarak öğrenme üzerinde istekli hale getirir [20].
- Çeşitli öğrenme stillerine uygun özgün bir öğrenme ortamı yaratabilir [21].
- Sanal ve gerçek nesnelerin birleştirilmesi öğrencinin etkinliğe kendini vermesini sağlar [17].
- Öğrencilerin bakış açısına göre bilgiler güncellendiği için süreklilik sağlar [16].
- Gerçek zamanlı etkileşim sağladığından, öğrenci-içerik etkileşimine katkıda bulunur [17].
- AG kullanımı ile soyut olan kavramlar somutlaştırılarak öğrencilerin anlamaları kolaylaştırılır [22].
- Yeni bir teknoloji olması ilgi ve merak uyandırması sayesinde eğlenerek öğrenmeyi sağlar [17].
- Öğrenci motivasyonunu artırır [23].

- AG teknolojisi kullanılarak yapılan öğretim ilgi ve merak uyandırdığı için öğrenilmesi ve öğretilmesi zor olan konuların anlaşılmasında kolaylık sağlar [19][24].
- Gerçek dünyada oluşturulamayacak ortam ve etkileşimler AG sayesinde mümkün olmaktadır [16].

Yukarıda listelenen faydaları artırılmış gerçekliğin eğitimde farklı alanlarda ve eğitsel amaçlarla kullanılmasına ve araştırılmasına kapı aralamıştır. Örneğin, AG matematik ve geometri eğitiminde sıklıkla kullanılmıştır. Kaufmann ve Schmalstieg, Construct3D isimli çalışmada Matematik ve Geometri için 3 boyutlu AG ortamı geliştirmişlerdir [21]. Yapılan uygulama öğrencilerin uzamsal gelişimini gözlemlemek amacıyla yapılmıştır [25]. İbili ve Şahin ise çalışmalarında geometrik cisimler ile AG uygulaması geliştirerek öğrenci başarısı ve derse karşı tutumu araştırmışlardır [19].

Billinghurst, Kato ve Poupyrev "Magic Book" isimli uygulama geliştirerek çocuklar için hikâye kitaplarını animasyonlarla zenginleştiren bir öğrenme ortamı geliştirmişlerdir. Kitapta bulunan resimler, artırılmış gerçekliğin entegre edildiği bir mobil cihaz ile bakıldığında üç boyutlu halde görülebilir olması sağlanmıştır. Bu sayede sanal karakterler AG ile desteklenmiştir [14].

Taşkıran, Koral ve Bozkurt artırılmış gerçekliğin yabancı dil öğrenimine entegre edilmesi sonucunda öğrencilerin AG hakkında görüşlerini değerlendirmişlerdir [17]. Di Serio, Ibáñez ve Kloos ise çalışmalarında ortaokul seviyesindeki öğrencilere uygulanan AG uygulamasının motivasyona, dikkate, ilgi ve memnuniyete etkisini incelemişlerdir [26].

Shelton ve Hedley ise yapmış oldukları çalışmada Coğrafya ile ilgili dönme, gündönümü, ışık ve sıcaklığın mevsimsel değişimi gibi kavramların öğretimi için AG uygulamasını kullanmışlardır. AG ile öğrencilerin soyut kavramları daha iyi anladıkları ve kavram yanlışlığını azalttıkları sonucuna ulaşmışlardır [9].

AG fizik eğitimi alanında da kullanılmıştır. Matcha ve Rambli fizik eğitiminde elektrik konusu ile ilgili hazırladıkları AG uygulamaları ile öğrencilere işbirlikçi bir öğrenme ortamı sunmuşlardır [27]. Abdüsselam ve Karal manyetizma konusunda AG materyallerinin öğrenci başarısı üzerine olumlu etkilerini gözlemlemişlerdir [22].

2.2. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Kullanılan Bileşenine Göre Türleri (Types Used By Components of The Augmented Reality Technology)

AG teknolojisi, kullanım alanı olarak ikiye ayrılmaktadır, bunlar:

- Konum tabanlı AG uygulamaları
- Resim tabanlı AG uygulamalarıdır.

Konum tabanlı AG uygulamaları, GPS sinyalleri ile konum tespit edilerek kullanıcının bulunduğu gerçek dünyaya sanal eklentiler eklenmesi esasına dayanır. Layar ve Wikitude isimli Android ve IOS platformunda desteği olan uygulamalar konum tabanlı AG'ye örnektir. Şekil 2' de GPS modülü yardımıyla gerçek ortamın koordinatlarında tanımlanan yerlere sanal eklentiler yapılması örneklenmektedir.

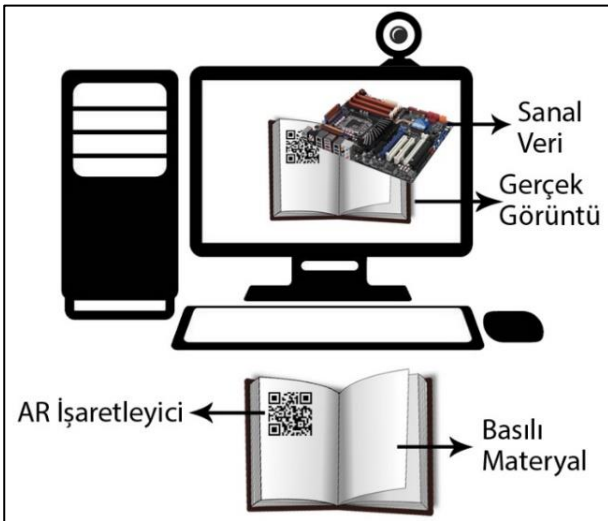


Şekil 2. Konum tabanlı AG uygulaması
(Location Based AR Application)

Resim tabanlı AG uygulamaları ise gerçek dünya üzerine ses, görüntü ve video eklentileri yaparak oluşturulan uygulamalardır. Bu uygulama türü de kendi içerisinde iki gruba ayrılır, bunlar:

- İşaretçi tabanlı uygulamalar
- İşaretçi tabanlı olmayan uygulamalar

İşaretçi tabanlı AG uygulamalarında gerçek ortamdaki nesnelere tanıtmak için önceden sisteme tanıtılmış işaretçilerin olması gerekir. Gerçek ortam ile sanal eklentileri birleştirmek için işaretçiler referans alınır. İşaretçi olmayan AG uygulamalarında gerçek ortama işaretçi eklemek yerine gerçek ortamdaki nesnelere kullanılmaktadır. Şekil 3'de resim tabanlı AG uygulamasına örnek verilmiştir.



Şekil 3. Resim tabanlı AG uygulaması
(Image Based AR Application)

3. YÖNTEM (METHOD)

3.1. Araştırmanın Modeli (Research Model)

Araştırma yarı deneysel yöntem kullanılarak yürütülmüştür. Yarı deneysel yöntem örneklemin rastgele seçilemediği ve deneysel gruplara rastgele atanmadığı durumlarda kullanılan bir deneysel yöntemdir.

3.2. Örneklem (Sample)

Örneklem, meslek yüksekokulu bilgisayar programcılığı bölümünde öğrenim gören 122 öğrenciden oluşmaktadır. A şubesinde öğrenim gören öğrenciler deney grubuna, B şubesinde öğrenim gören öğrenciler kontrol grubuna atanmıştır. Deney grubu öğrencilerine bir eğitim öğretim dönemi boyunca AG öğrenme materyali kullanılmıştır. Kontrol grubu öğrencilerine ise AG öğrenme materyali kullanılmadan eğitime devam edilmiştir.

3.3. Veri Toplama Araçları (Data Collection Tools)

Araştırmada veri toplamak için başarı testi ve öğrenci görüşlerini almak için bir görüş anketi ve görüşme formu kullanılmıştır. Tablo 1' de araştırma soruları ile birlikte kullanılan veri toplama araçları gösterilmektedir.

Tablo 1. Veri toplama araçları (Data collection tools)

Araştırma Soruları	Veri Toplama Aracı
Deney ve kontrol gruplarının uygulama öncesi ve uygulama sonrası başarı düzeyleri arasında anlamlı bir fark var mıdır?	Başarı Testi
Deney grubunu oluşturan öğrencilerin uygulama hakkında memnuniyetliklerine ilişkin görüşleri nelerdir?	AG Görüş Anketi
Öğrencilerin artırılmış gerçeklik öğrenme materyali uygulamasına yönelik görüşleri nelerdir?	AG Görüş Formu

3.3.1. Başarı Testi (Achievement test)

Ders içerikleri dikkate alınarak, öğrenim kazanımları doğrultusunda öğrencilerin ders başarılarını ölçmek amacıyla bir başarı testi geliştirilmiştir. Başarı testi için 100 soruluk bir soru havuzu oluşturulmuştur. Test geliştirilmesinde bilgisayar donanım dersi için hazırlanan ders içerikleri dikkate alınarak her bir kazanıma yönelik 40 sorudan oluşan çoktan seçmeli bir test hazırlanmıştır. Başarı testini uygulamadan önce, soruların öğrenciler tarafından kolayca anlaşılabilirliğinin belirlenebilmesi ve gerekli düzeltmelerin yapılabilmesi için dersi daha önceden almış 60 öğrenci üzerinde pilot test yapılarak gerekli görülen düzeltmeler yapılmıştır. Test süresi 40 dakika olarak belirlenmiştir. Pilot uygulamadan elde edilen veriler üzerine madde analizleri de yapılarak teste son hali verilmiştir. Madde ayırt edicilik değeri ve madde güçlük değeri 0,20'nin altında olan 10 madde (2, 8, 9, 11, 15, 22, 30, 35, 36, 37) testten çıkarılmıştır. 30 sorudan oluşan başarı testinin ortalama madde güçlük değeri 0,48, ayırt edicilik değeri 0,40, KR-20 güvenilirlik katsayısı ise 0,75 olarak bulunmuştur. Hesaplanan bu değere göre

testin geçerlilik ve güvenilirliğinin yeterli olduğu sonucuna gidilmiştir [28].

3.3.2. Görüş Anketi (AG Opinion scale)

Deney grubu öğrencilerinin bilgisayar donanım dersinde yapılan uygulamaya yönelik görüşlerini ortaya çıkarmak amacıyla bir görüş anketi hazırlanmıştır. Anket için teknoloji kabul modeli temel alınmış ve bu modele göre hazırlanmış ve Küçük'ün araştırmasında Türkçe uyarlaması yapılmış olan bir anket temel alınarak hazırlanmıştır [29]. TKM temel olarak bireylerin yeni bir teknolojiyi kabulü üzerine odaklanmaktadır. Davis ve Davis, Bagozzi ve Warshaw teknoloji kabul modelini, bireylerin kullandıkları yeni teknolojiyi kabul etmelerinde neyin etkili olduğunu tespit etmeye yönelik bir modelleme olarak açıklamışlardır [30][31]. Fishbein ve Ajzen tarafından geliştirilen TK bireylerin davranışlarını açıklamak amacıyla kullanılan sebepli davranış kuramının bir uygulaması olarak görülmektedir [32]. Bu çalışmada TKM, yeni bir teknoloji olan AG uygulamasının öğrencilere kabulünü ölçmek üzere kullanılmıştır. Anket 5'li likert türünde olup 23 maddeden oluşmaktadır. Anket soruları 7 faktör olarak gruplandırılmıştır. Anketin Cronbach alfa güvenilirlik katsayısı 0,83'tür.

3.3.3. Artırılmış Gerçeklik Görüşme Formu (Augmented reality interview)

Deney grubu öğrencilerinin AG'nin etkililiğine yönelik görüşlerini almak için 9 sorudan oluşan yarı yapılandırılmış görüşme formu hazırlanmıştır. Görüşme deney grubundan 10 öğrenci ile gerçekleştirilmiştir.

3.4. AG Öğrenme Materyali (AG learning material)

Çalışma kapsamında bilgisayar donanım öğretimi için AG öğrenme materyali hazırlanmıştır. Oluşturulan öğrenme materyali ile her öğrenci mobil platformda bilgisayar parçalarını görebilecekleri, uygulama yapabilecekleri aynı zamanda resim, video ve ses ile desteklenen interaktif bir öğrenme ortamını kullanmaları sağlanmıştır. AG öğrenme materyali araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Hazırlanan materyal öğrencilerin bilgisayar donanım dersi için ders notu şeklinde olup kullanılan resimler ve kare kodlar ile telefonlarını kullanarak ilgili görsel hakkında bilgi alıp uygulama yapabilecekleri bir ortam sunulmuştur.

AG öğrenme materyali geliştirme aşamasında ilk olarak pilot çalışmada masaüstü bilgisayarlar kullanılmıştır. AG öğrenme materyali için Visual Studio, Unity, ve Android Studio programları kullanılarak C# ve Java dilleriyle uygulama geliştirilmiştir. AG temelinde gerçekliği zenginleştirmek anlamına geldiği için gerçek ortamlara eklenen üç boyutlu sanal eklentiler 3D Studio Max, Maya, Adobe Paket Programları gibi grafik tabanlı yazılımlar ile hazırlanmıştır.

Sanal nesnelerin gerçek ortamlarda görüntülenmesi için işaretçilere (marker) ihtiyaç duyulmuştur. AG öğrenme materyalinde kare kodlar, gerçek objeden oluşan görüntüler ve metin tanıma gibi işaretçiler kullanılmıştır. İşaretçileri tanımlama aşamasında AG yazılım geliştirme kiti kullanılmıştır. Vuforia, Wikitude ve Qualcomm gibi çevrimiçi veya bilgisayara yüklenebilen yazılım geliştirme kiti sayesinde işaretçiler tanımlanmıştır.

AG öğrenme materyali hazırlanırken alan yazında bahsedilen birçok program ve yazılım geliştirme kiti denenmiştir. Denemeler sonucunda en kararlı çalışan sistem ile uygulama yapılmıştır. Uygulama geliştirme aşamasında Unity 3D isimli oyun geliştirme programı kullanılmıştır. Yazılımların kararlı bir şekilde çalışabilmesi için Windows işletim sistemi 32 Bit versiyonu tercih edilmiştir. İşaretçiler için Vuforia yazılım geliştirme kiti Unity 3D programıyla birlikte çalışacak şekilde entegre edilmiştir. Gerçek ortamları zenginleştirmek için sanal 3 boyutlu nesnelere 3D Studio Max programı ile .3ds dosya uzantısı olacak şekilde hazırlanıp, Unity 3D programına dahil edilerek uygulama hazırlanmıştır.

Pilot çalışma için masaüstü bilgisayarda çalışacak şekilde exe ve html dosya uzantılı program çıktısı alınmıştır. Bilgisayar sınıfında öğrencilerin kullandığı bilgisayarlara dosyalar kopyalanarak pilot çalışma için uygulama ortamı hazırlanmıştır. Şekil 4'de pilot çalışma için yapılan uygulamaya örnek ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. Pilot çalışma uygulama görüntüsü
(Pilot Application Image)

Uygulamanın pilot aşamasında aşağıdaki sınırlılıklar gözlemlenmiştir.

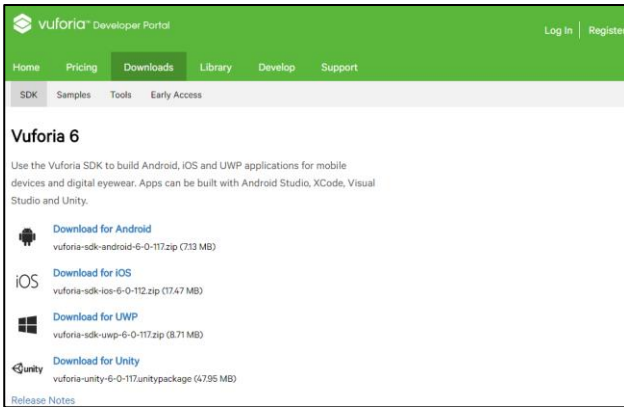
- Öğrencilerden bazıları AG teknolojisini ilk kez gördükleri için uygulamayı kullanmada zorlanmışlardır.
- Masaüstü bilgisayarlara takılan kameraların yeterli düzeyde olmamasından dolayı kullanımda aksaklıklar meydana gelmiştir.
- 3 boyutlu sanal eklentiler ile gerçek ortamın yeterli düzeyde uyumlu olmadığı tespit edilmiştir.

Pilot uygulamada karşılaşılan aksaklıklar düzeltilerek asıl uygulama mobil platform üzerinde Android işletim sisteminde çalışacak şekilde hazırlanmıştır.

AG öğrenme materyali Bilgisayar Programcılığı 1. sınıf öğrencilerine kullanılmıştır. İlk 2 hafta öğrencilere

pilot uygulama kullanılarak öğrencilerin AG teknolojisi hakkında bilgi almaları ve asıl yapılacak olan uygulama için çözümler üretilmiştir. Takip eden sürenin devamında 1 hafta boyunca başarı testi (ön-test) yapılmıştır. Geri kalan 7 hafta boyunca AG öğrenme materyali uygulaması çalışılmıştır. Bu sürenin içerisinde 1 hafta eğitime ara verilmesinden dolayı toplamda 6 hafta AG öğrenme materyali ile dersler anlatılmıştır.

Mobil destekli AG uygulaması için pilot çalışmada kullanılan Vuforia yazılım geliştirme kiti tercih edilmiştir. Unity 3D programı için kullanılan yazılım geliştirme kitinin programa uygun olan eklentisi bilgisayara kurulmuştur. Şekil 5’ de Unity 3D programı için Vuforia yazılım geliştirme kitinin bilgisayara indirilmesi gereken eklentinin ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Vuforia 6 SDK eklentisi
(Vufori 6 SDK plugin)

Şekil 5 incelendiğinde Vuforia sisteminde hesap açıldıktan sonra “Develop” sekmesi kullanılarak işaretçiler sisteme yüklenir. Yüklenen işaretçiler ile oluşturulan lisans anahtarı Unity 3D programına yüklenerek işaretçilere program içerisinde erişme imkânı sağlanmış olur. İşaretçiler gerçek görüntülerin resim formatlarında (.jpg) yüklenmiştir. Aynı zamanda karekod veya metin işaretçileri için aynı yöntem kullanılarak resim formatlarında sisteme dahil edilmiştir.

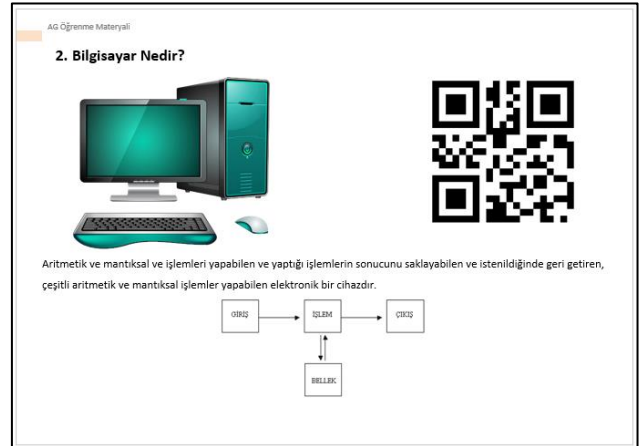
3 boyutlu sanal eklentiler 3D Studio Max programında hazırlanmıştır. 3 boyutlu sanal eklentiler, 3ds veya obj formatlarında oluşturulmuştur. Unity 3D programında işaretçiler ve sanal eklentiler ile birlikte öğretim materyali hazırlanmıştır. Şekil 6’da Unity programının tasarım ekranından bir örnek verilmiştir.



Şekil 6. Unity tasarım ekranı
(Unity Design Screen)

Şekil 6’da Unity 3D programının tasarım ekranı gösterilmektedir. Uygulama hazırlandıktan sonra farklı platformlarda uygulamanın çalışabilmesi için dosyalar üretilmiştir. Unity 3D programında hazırlanan AG öğrenme materyali masaüstü bilgisayarda, web ortamında, IOS ve Android işletim sistemine sahip cihazlarda çalışması sağlanmıştır. Deney grubu öğrencilerinin mobil cihazlarında Android işletim sistemi kullanımının fazla olması ve kolay erişimin sağlanmasından dolayı Android cihazlarda çalışabilecek program çıktısı üretilmiştir.

Şekil 7’de hazırlanan AG öğrenme materyalinden bir sayfa görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7. Örnek materyal tasarımı
(Sample Material Design)

Şekil 7’de verilen örnek materyal görüntüsünde, öğrencilerin cihazlarına yüklenen uygulama kullanılarak hazırlanan yazılı materyalin üzerine getirilip 3 boyutlu görseller ve animasyonlar cihazların ekranlarında görüntülenmektedir. Bu sayede öğrenciler sadece yazılı materyale bağlı kalmaksızın gerçek görüntüler ve animasyonlar ile daha fazla uygulama yapma imkânları bulmuş olurlar.

4. BULGULAR (RESULTS)

4.1. “Deney ve kontrol gruplarının uygulama öncesi ve uygulama sonrası başarı düzeyleri arasında anlamlı bir fark var mıdır?” Araştırma Sorusuna Ait Bulgular (“Is there a significant difference achievement levels between experimental

and control groups prior of application and later of application?" results of research question)

Deney grubu öğrencilerinin öntest ve sontest puanları arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığına ait bulgular Tablo 2’ de verilmiştir. Öntest puanlarının ortalamaları ve standart sapma değerleri de Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2. Deney grubu öğrencilerinin öntest ve sontest başarı puanlarının karşılaştırılmasına ilişkin sonuçları
(The results of comparison for students achievement pre-test and post-test succes points in experimental group)

Grup	Testler	N	\bar{x}	SS	t	Sd	p
Deney	Öntest	61	20,58	2,81	-4,28	59	.000
	Sontest	61	22,53	3,77			

Tablo 2 incelendiğinde deney grubu öğrencilerinin AG öğrenme materyalini kullanmadan önceki başarı testi ortalama puanı $\bar{X} = 20,58$ ’dir. AG öğrenme materyalini kullandıktan sonra başarı testi ortalama puanı $\bar{X} = 22,53$ olduğu görülmektedir. Ortalama başarı puanındaki bu artış; puanlar arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir ($t(59) = -4,286; p < .05$). Analiz sonucunda erişilen bulgu, AG öğrenme materyalinin öğrencilerin başarılarında olumlu yönde bir durum oluşturduğu anlamında yorumlanabilir. Ortalamalar arasındaki farkın etki büyüklüğüne bakıldığında 0,58 değeri bulunmuştur. Bu sonuç deney grubu öğrencilerinin öntest ve sontestleri arasında orta büyüklükte bir etki olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin öntest başarı puanlarının aritmetik ortalama, standart sapma ve standart hata değerleri

(Arithmetic mean, standart deviation and standart error values of pre-test succes points of experimental and control group students)

Grup	Testler	N	\bar{x}	SS	t	Sd	p
Deney	Öntest	61	20,58	2,812	0,181	117	,857
		61	20,42	3,766			

Tablo 3 incelendiğinde AG öğrenme materyalini kullanan deney grubu öğrencilerinin öntest başarı puan ortalaması $\bar{X} = 20,58$ olarak hesaplanmıştır. Kontrol grubu öğrencilerinin ön test başarı puan ortalaması $\bar{X} = 20,42$ olarak hesaplanmıştır. Deney ve kontrol gruplarının öntest başarı puanları karşılaştırılması için yapılan ilişkisiz örneklem t-testi sonrasında grupların deneysel işlem öncesinde denk oldukları bulunmuştur ($p > 0,05$).

4.2. “Deney grubunu oluşturan öğrencilerin uygulama hakkında memnuniyetliklerine ilişkin görüşleri nelerdir?” araştırma sorusuna ait bulgular (What are the views of their pleasantness about application of the students in the experimental group? Results of the research question)

Deney grubu öğrencilerinin Bilgisayar Donanım dersi için geliştirilen AG öğrenme materyaline yönelik görüşlerini belirlemek amacıyla AG görüş anketi kullanılmıştır. AG görüş anketi 7 faktörden oluşmuş olup, her bir faktöre

ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4’ de verilmiştir.

Tablo 4. Anketi oluşturan alt faktörlerin ortalamaları
(The average value of the sub-factors that make the AG Opinion Survey)

Alt Faktörler	\bar{x}	SS
Algılanan Memnuniyet	4,14	0,78
Algılanan Fayda	3,95	0,77
Etkililik	4,05	0,76
Çoklu Ortam Öğretimi	4,09	0,82
Sistem Kalitesi	4,07	0,78
Algılanan Özyeterlik	4,21	0,70
Niyet	4,09	0,73

Tablo 4 incelendiğinde deney grubu öğrencilerinin AG öğrenme materyali ile ilgili ortalama değer $\bar{X} = 4,08$ olarak bulunmuş olup ankette yer alan soruları olumlu yönde cevapladıkları söylenebilir.

4.3. “Öğrencilerin artırılmış gerçeklik öğrenme materyali uygulamasına yönelik görüşleri nelerdir?” araştırma sorusuna ait bulgular (What are the opinions of the students about augmented reality learning material application? Results of research question)

AG öğrenme materyalini kullanan deney grubu öğrencileri ile ders dönemi sonunda görüşmeler yapılmıştır. Görüşmelerden elde edilen veriler araştırma soruları kapsamında betimsel analiz yöntemi ile analiz edilmiştir. Öğrenciler ile yapılan görüşmelerde AG öğrenme materyali hakkındaki düşüncelerini görüşme formunda yer alan sorular kapsamında cevaplandırmışlardır.

Pilot çalışma sonrasında yapılan görüşmelerde öğrenciler AG ile ilk kez karşılaştıklarından ve teknolojik imkânların kısıtlı olmasından dolayı kullanım zorlukları yaşadıklarını dile getirmişlerdir. Ayrıca kendi bilgisayarlarında uygulamayı çalıştırma konusunda sıkıntılar yaşadıklarını ifade etmişlerdir. Bu aksaklıklar uygulamanın mobil platformda çalışacak şekilde yapılması ile giderilmiştir.

Öğrencilerin bir kısmı bilgisayar donanım konusunda yeteri kadar bilgiye sahip olduklarını dile getirmişlerdir. Bir grup öğrenci uygulamadan önce derste sıkılacaklarını düşündüklerini ve bu nedenle derse karşı isteksiz olduklarını söylemişlerdir. Ancak uygulama sonrasında öğrenci görüşleri olumlu yönde değişiklik göstermiştir. AG teknolojisinin eğitimde kullanılmasının motivasyon, hayal gücü, derse karşı olan ilgi ve tutumu olumlu yönde etkilediği alan yazında bahsedilen özellikler arasında yer almaktadır. Benzer şekilde çalışma sürecinde öğrencilerin daha istekli oldukları da bulgular arasında yer almaktadır.

Öğrenciler AG teknolojisinin sadece eğitim amaçlı değil gerçek dünyada da kullanılması gerektiğini dile getirmişlerdir. Bir grup öğrenci ise diğer derslerinde de AG teknolojisinin kullanılmasının kendileri için faydalı olabileceği şeklinde düşüncelerini belirtmişlerdir.

4.4. “Eğitmenlerin artırılmış gerçeklik öğrenme materyali uygulamasına yönelik görüşleri nelerdir?” araştırma sorusuna ait bulgular (What are the views of the lecturer about augmented reality learnin material? Results of the research question)

Çalışmanın hazırlanmasında, veri toplama kısmında ve uygulamanın gelişimi aşamasında eğitmenlerin görüşleri alınarak araştırma boyunca aktif rol almaları sağlanmıştır. Farklı birimlerdeki bilgisayar programcılığı bölümünde görevli olan öğretim elemanlarının derslerinde kullanmaları için araştırma da geliştirilen AG öğrenme materyali önerilmiştir. Materyali kendi derslerinde kullanan öğretim elemanları ile görüşmeler yapılarak düşünceleri alınmıştır.

Öğretim elemanları AG öğrenme materyalini kullanan öğrencilerin derse karşı motivasyonlarının arttığını gözlemlemişler ve öğrencilerin derse karşı daha istekli olduklarını ifade etmişlerdir.

Öğrencilerin AG öğrenme materyalini kullanmaları dersin öğrenci merkezli olmasını sağlamıştır. Bu sayede öğrenciler içerik ile etkileşimde bulunmuşlardır. Bunun sonucu olarak eğitmenler eğitimde yönlendirici rolünü üstlenmiş olup öğrenciler ise eğitimde aktif rol almışlardır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

AG öğrenme materyali ile desteklenen öğretimde öğrencilerin daha başarılı oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Benzeri araştırmalarda da AG teknolojisi ile desteklenen eğitim öğretim ortamlarında kullanılan materyallerin öğrencilerin başarılarını arttırdığı sonucu elde edilmiştir [12][18]. Nitel ve nicel veriler birlikte incelendiğinde AG öğrenme materyalinin öğrenciler üzerinde olumlu bir etki bıraktığı aynı zaman da ders memnuniyeti arttırdığı olduğu görülmüştür. Bunun sonucu olarak AG'nin eğitim kalitesini olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaliteli bir eğitim ve öğretim ortamında dikkat edilmesi gereken önemli konulardan biri öğrencilerin derse olan ilgisi ve isteğidir. AG öğrenme materyalinin animasyonlar ve videolar içermesi, bunlara ek olarak mobil teknolojinin kullanılması öğrencilerin sürekli olarak derse olan ilgi ve dikkatlerini toplamada önemli olmuştur. Alan yazında AG uygulamalarının öğrencilerin ilgi ve dikkatlerini derse çektiği [19] ve motivasyonlarını artırdığı [17] belirtilmektedir. Bununla birlikte AG uygulamalarının öğrencilerin derslerine bakış açılarının da olumlu yönde etkilediği vurgulanmaktadır [34].

AG öğrenme materyalinin eğitimde kullanılması, öğrencilerin birbirleri arasındaki etkileşimi artırdığı sonucuna da ulaşılmıştır. AG teknolojisi gerçek ortamdan soyutlanmadan sanal nesnelere ile gerçeği zenginleştirmeye olanak sağlar [17]. Aynı zamanda sosyal ilişkileri kuvvetlendirerek işbirlikçi öğrenmeye olanak sağlamaktadır [14]. Bu bakımdan AG, gerçek dünyadan uzaklaştıran sanal ortamlar için alternatif bir yöntem

oluşturmaktadır. Öğrencileri sınıf ortamından uzaklaştırmadan doğal bir etkileşim kurmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

AG öğrenme materyalini kullanan öğrenciler ile yapılan görüşmeler sonucunda genel olarak derse karşı olan ilgi ve motivasyonlarının arttığına yönelik olumlu sonuçlar elde edilmiştir [19]. Bu sonuçların olumlu yönde olmasının en önemli sebeplerinden biri; Bilgisayar Programcılığı bölümünde okuyan öğrencilerin teknolojiye karşı ilgilerinden kaynaklı olmasıdır. AG'nin yeni bir teknoloji olması ve uygulama alanının oldukça geniş olması öğrencilerin derse karşı ilgilerini olumlu yönde etkilemiştir. Bu durum sayesinde öğrencilerin materyali kullanma istekleri uygulama boyunca devam etmiştir. Derse karşı olan ilgilerinden artmasından dolayı başarı testleri sonucunda elde edilen veriler öğrencilerin olumlu yönde ilgilerini destekler nitelikte olduğunu göstermektedir.

Öğrencilerin AG teknolojisini rahatlıkla kullanabildikleri ve ilk defa bu teknolojiyle karşılaşan kullanıcıların dahi kolaylıkla kullanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Öğrenciler ile yapılan görüşmelerde AG öğrenme materyalini kullanımı için herhangi bir eğitime gerek olmaksızın kullanımının oldukça kolay olduğuna dikkat çekmişlerdir. Alan yazında AG uygulamalarının öğrenciler tarafından kolaylıkla kullanılabilir olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur [20][24]. Bu sonuç, pilot uygulamanın eksikleri tespit edilerek çözüme kavuşturulması ve alan uzmanlarının görüşleri alınarak AG öğrenme materyalini öğrencilerin becerilerine göre hazırlanmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

Pilot çalışma masaüstü bilgisayarlarda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Alan yazında da ayrıntılı olarak bahsedildiği üzere işletim sistemi, yazılımların uyumluluğu, kamera kalitesi gibi etkenlerden dolayı pilot çalışmada aksaklıklar meydana gelmiştir. Asıl uygulama dikkate alınarak pilot çalışmada gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Öğrencilerin bilişsel düzeyi düşünüldüğünde uygulamanın mobil teknoloji destekli olmasına karar verilmiştir. Öğrencilerin kendi telefon veya tabletlerinde kullanılabilecekleri uygulama geliştirilmiştir. Bu durum başka derslerde de öğrencilerin AG öğrenme materyalini kullanma isteklerini desteklemiştir. Aynı zamanda AG öğrenme materyalini kullanımından memnun kaldıkları sonucuna ulaşılmıştır.

Öğrenciler AG öğrenme materyalinin eğitimde kullanılmasının dersleri ilginç ve keyifli hale getirdiğini ifade etmişlerdir. Eğitim öğretimde alışlagelmiş öğretim materyali kullanımı öğrencilerin ilgi, dikkat ve isteklerini yeterli kadar karşılayamamaktadır [25]. AG öğrenme materyalinin öğrenci içerik etkileşimine imkân tanınması, gerçeğe yakın üç boyutlu resimler ve videolar ile zenginleştirilmesi, derslere karşı ilginin ve dikkatin artırmasında önemli rol oynamaktadır. AG teknolojisinin öğrenmeyi keyifli hale getirdiğini gösteren çalışmalarda [19][24] bu sonucu destekler niteliktedir. Öğrencilerin AG öğrenme materyalinin kullanıldığı benzer dersler

almak istemişlerdir. Alan yazında öğrencilerin AG teknolojisini tekrar kullanmak istedikleri sonucu desteklenmektedir [29][34]. Bu sonuç AG öğrenme materyalini kullanan öğrencilerin uygulamadan memnun kaldıklarını göstermektedir.

Sonuç olarak AG destekli bilgisayar donanım öğretiminin laboratuvar ortamına bağlı kalmadan sınıf ortamında da kullanılabilceği görülmüştür. Öğrenciler ile yapılan görüşmelerde birçok ders için AG öğrenme materyalinin kullanılabilceğini ifade eden düşünceleri bu durumu destekler niteliktedir. AG destekli öğretim ortamlarının hazırlanma aşamasında güncel bilgiler ve yazılımlar takip edilerek uygulamanın yapılacağı hedef kitlenin bilgi ve yeteneklerine uygun olması önerilmektedir. Çalışmaların geniş bir süre ve konu dâhilinde hazırlanması AG'nin öğrenciler üzerindeki olumlu etkisini artırabilmektedir. Çalışma kapsamında AG öğrenme materyalini kullanan öğrencilerin başarıları olumlu yönde etkilenmiştir. Öğrenci görüşleri bu başarıyı destekler niteliktedir. İleride yapılacak olan çalışmalarda; tutum, cinsiyet, grupla öğrenme vb. değişkenlerin sonuçlar üzerindeki etkilerinin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. İşman and S. Gürgün, "Özel Okullarda Öğrenim Gören İlköğretim Öğrencilerinin İnternete Yönelik Tutum Ve Düşünceleri (Acarkent Doğa Koleji Örneği)," **The 8th International Educational Technology Conference**, 2008.
- [2] B. Caymaz, **Fen ve teknoloji ve sınıf öğretmeni adaylarının fen ve teknoloji okuryazarlığına ilişkin öz yeterlik algıları**, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2008.
- [3] M. J. Koehler and P. Mjshra, "What happens when teachers design educational technology? The development of technological pedagogical content knowledge," *Journal of Educational Computing Research*, 32(2), 131–152, 2005.
- [4] H. Çelik and M. Kahyaoglu, "İlköğretim Öğretmen Adaylarının Teknolojiye Yönelik Tutumlarının Kümeleme Analizi," **Türk Eğitim Bilimleri Dergisi**, 2007.
- [5] M. Bulun, B. Gülnar, and S. Güran, "Eğitimde Mobil Teknolojiler," *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 3(2), 165–169, 2004.
- [6] L. Barut, **Fen Ve Teknoloji Öğretmenlerinin Eğitimde Teknoloji Kullanımına Yönelik Tutumları İle Bilgisayar Öz Yeterlik Algıları Arasındaki İlişki**, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [7] P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321–1329, 1994.
- [8] B. Shelton and R. Stevens, "Using coordination classes to interpret conceptual change in astronomical thinking," *Proceedings of the 6th international conference for the learning sciences*, 634, 2004.
- [9] B. E. Shelton and N. R. Hedley, "Using augmented reality for teaching Earth-Sun relationships to undergraduate geography students," *ART 2002 - 1st IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, Proceedings*, 2002.
- [10] H. Çetinkaya and M. Akçay, "Eğitim ortamlarında artırılmış gerçeklik uygulamaları," **Akademik Bilişim Kongresi, Antalya**, 2013.
- [11] R. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385, 1997.
- [12] B. T. Çavaş, Bülent; Çavaş Huyugüzel, Pinar; Can, "Eğitimde sanal gerçeklik," *TOJET: The Turkish Online*, 3(4), 2004.
- [13] Ç. Erbaş and V. Demirer, "Eğitimde Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları: Google Glass Örneği 1," *Journal of Instructional Technologies & Teacher Education*, 3(2), 8–16, 2014.
- [14] M. Billinghurst, H. Kato, and I. Poupyrev, "The MagicBook - Moving seamlessly between reality and virtuality," *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(3), 6–8, 2001.
- [15] S. Fleck, M. Hachet, and J. M. Christian Bastien, "Marker-based Augmented Reality: Instructional-design to improve children interactions with astronomical concepts," **In Proceedings of IDC 2015: The 14th International Conference on Interaction Design and Children**, 21–28, 2015.
- [16] J.-C. Yen, C.-H. Tsai, and M. Wu, "Augmented Reality in the Higher Education: Students' Science Concept Learning and Academic Achievement in Astronomy," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 103, 165–173, 2013.
- [17] A. Taşkırın, E. Koral, and A. Bozkurt, "Artırılmış Gerçeklik Uygulamasının Yabancı Dil Öğretiminde Kullanılması," **Akademik Bilişim**, 462–467, 2015.
- [18] Y. Özarslan, "Öğrenme ve Öğretmenin Genişletilmiş Gerçeklik ile Zenginleştirilmesi: OptikAR Uygulaması Enhancing Learning and Teaching with Augmented Reality: OptikAR Application," **5. International Computer And Instructional Technologies Symposium (ICITS 2011)**, 2011.
- [19] E. İbili and S. Şahin, "Software Design and Development of an Interactive 3D Geometry Book Using Augmented Reality: ARGE3D," *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 13(1), 1–8, 2013.
- [20] R. Wojciechowski and W. Cellary, "Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments," *Computers and Education*, 68, 570–585, 2013.
- [21] H. Kaufmann and D. Schmalstieg, "Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality," *Computers and Graphics (Pergamon)*, 27(3), 339–345, 2003.
- [22] H. Abdüsselam, Mustafa Serkan; Karal, "Fizik öğretiminde artırılmış gerçeklik ortamlarının öğrenci akademik başarısı üzerine etkisi: 11. Sınıf manyetizma konusu örneği," *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 1(4), 170–181, 2012.
- [23] A. Bin Tomi and D. R. A. Rambli, "An interactive mobile augmented reality magical playbook: Learning number with the thirsty crow," *Procedia Computer Science*, 25, 123–130, 2003.
- [24] L. Kerawalla, R. Luckin, S. Seljeflot, and A. Woolard, "Making it real: exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science," *Virtual Reality*, 10(3), 163–174, 2006.
- [25] S. Somyürek, "Öğretim Sürecinde Z Kuşağının Dikkatini Çekme: Artırılmış Gerçeklik," *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 4(1), 63, 2014.
- [26] Á. Di Serio, M. B. Ibáñez, and C. D. Kloos, "Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course," *Computers and Education*, 68, 585–596, 2013.
- [27] W. Matcha and D. R. A. Rambli, "Exploratory study on collaborative interaction through the use of Augmented Reality in science learning," *Procedia Computer Science*, 25, 144–153, 2013.
- [28] Ş. Kalaycı, **SPSS Uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri**, 2009.
- [29] S. Küçük, S. Kapakin, and Y. Göktaş, "Tıp Fakültesi Öğrencilerinin Mobil Artırılmış Gerçeklikle Anatomi Öğrenimine Yönelik Görüşleri," *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, 5(3), 316, 2015.

- [30] F. Davis, "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology," *MIS quarterly*, 13(3), 319–340, 1989.
- [31] F. D. Davis, R. P. Bagozzi, and P. R. Warshaw, "User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models," *Management Science*, 35(8), 982–1003, 1989.
- [32] M. Fishbein and I. Ajzen, "Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research," *Reading, MA: Addison-Wesley*, 1–18, 1975.
- [33] A. Yıldırım and Ş. Hasan, *Nitel Araştırma Yöntemler*, Seçkin Yayıncılık, 2013.
- [34] G. Ezgi, **Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Öğrencilerin Uzamsal Yeteneklerine Etkisi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, 2014.

Hidroelektrik Santrallerde Vardiya Çizelgeleme Problemleri İçin Hedef Programlama Yaklaşımı

Evren Can ÖZCAN^{1*}, Emre VARLI², Tamer EREN³

¹Bakım Yönetim Sistemi Müdürlüğü, Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye

³ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye

enmcac@gmail.com, ef.varli@gmail.com, teren@kku.edu.tr

(Geliş/Received:05.01.2017; Kabul/Accepted:27.09.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.347609

Özet— Kuruluşların hitap ettikleri kitleleri en üst seviyede memnun etmeleri, kâr ve sistem verimi maksimizasyonu ile maliyet minimizasyonu gibi üst ölçekteki hedeflere ulaşmaları birçok parametre üzerinde yoğunlaşmalarını gerekli kılmaktadır. Ürün ve hizmet üretiminde istihdam edilen personelin söz konusu hedeflere ulaşılmasındaki önemli etkisi dikkate alındığında, çalışanlar arasında adil iş dağılımının sağlanması ile çalışanların yeterlilik, istek ve ihtiyaçlarına uygun nitelikteki işlerde, güvenlik içinde çalışmasını temin ederek motivasyon ve performanslarının artırılmasına hizmet eden personel çizelgelemenin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında, çalışan performansının artırılmasına odaklanmış, adil çalışma ve işin gerekliliklerini birlikte dikkate alan bir hedef programlama modeli önerilmiş ve çalışan performansının önemli sonuçlar doğuracağı Türkiye’deki büyük ölçekli bir hidroelektrik santraldeki gerçek veriler kullanılarak modelin çözümü neticesinde, modelin kullanılmadığı döneme göre operatör hatasından kaynaklı üretim duruşlarında %91’lik iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler— vardiya personeli çizelgeleme, hidroelektrik santral, elektrik üretimi, hedef programlama

Goal Programming Approach for Shift Scheduling Problems in Hydroelectric Power Plants

Abstract— The organizations are required to focus on many parameters to please the population they address at the maximum level and accomplish their high-level goals such as profit and system efficiency maximization and cost minimization. Taking the important impact of the staff employed for product and service production in reaching the mentioned goals, the importance of personnel scheduling occurs which serves to increase their motivation and performance providing fair division of tasks and providing the employees to work in the appropriate qualities as per competence, desire and needs in safety. Within this context in this study, a goal programming model which focuses on increasing the performance of the employees and considering the fair working conditions and work requirements jointly, is proposed and, as a result of the model solution using the real data in a big scale hydroelectric power plant in Turkey where the employee performance leads to important results, it is determined that there is an improvement about 91% in downtimes arise from operator faults compared to the period when the model is not used.

Keywords— shift employee scheduling, hydroelectric power plant, electricity generation, goal programming

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hizmet ya da üretim sektöründe yer alan kamu ve özel sektör kuruluşlarının tamamı için kâr maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu, sistem veriminin maksimizasyonu, müşteri memnuniyetinin mümkün olan en üst düzeye çıkarılması gibi ortak hedeflerden bahsedilebilir. Bu tip makro hedeflere ulaşmak için birçok parametrenin ayrı ayrı ya da eş zamanlı olarak iyileştirilmesi gerekli olmakla birlikte, kuruluşların

hizmet ve/veya ürün üretiminde kullandıkları ana kaynakların başında gelen istihdam ettikleri çalışanlarının performansı temel belirleyici etkenlerdendir. Bu kapsamda, genellikle çözümü zor optimizasyon problemleri arasında yer alan ve çeşitli hizmetlerin yerine getirilmesi için her bir çalışanın yeterlilikleri, ihtiyaçları ve istekleri doğrultusunda hizmetlerin niteliğini de dikkate alacak şekilde kullanılabilir çalışma planlarının oluşturulması olarak tanımlanabilecek personel çizelgelemenin kullanımı

kuruluşlara çalışan performansının artırılması açısından fırsatlar sunmaktadır [1].

Elektrik üretim santrallerinde üretimin gerçekleştirilmesi ve gerekli bakım – onarım faaliyetlerinin yürütülmesi kompleks yapılı, uzmanlık gerektiren ve emek yoğun faaliyetler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tesislerin çıktısı olan elektrik enerjisinin insan yaşamı üzerindeki yüksek etkisi ve vazgeçilmezliği dikkate alındığında, işe uygun çalışanların atanması ve çalışan performansının iyileştirilmesinin, santrallere sağlayacağı parasal katma değer yanında toplum üzerindeki etkisi daha da ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında, çalışanların nitelikleri ile yapılacak işlerin gereklilikleri birlikte dikkate alınarak hem üretim sürecinin hem de çalışan performansının artırılması amacıyla çalışanlar arasında adil iş dağılımı yapılması için bir hedef programlama modeli önerilmiş ve gerçek veriler kullanılarak bu modelin çözümü Türkiye’de yer alan büyük ölçekli bir hidroelektrik santralde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde hidroelektrik santrallerin işletme esasları, Türkiye açısından önemi ve bu tesislerde personel çizelgelemenin önemi özetlenmiş, üçüncü ve dördüncü bölümlerde sırasıyla hedef programlama tanıtılarak literatürde yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Beşinci bölümde, önerilen model sunulmuş ve son bölümde ise modelin çözümünden elde edilen sonuçlar yorumlanarak ileride yapılabilecek çalışmalar ile ilgili tavsiyelerde bulunulmuştur.

2. HİDROELEKTRİK SANTRALLER VE İŞLETME ESASLARI (HYDROELECTRIC POWER PLANTS AND OPERATING RULES)

Elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir kaynak kullanımı dünya genelinde sürekli olarak artış göstermektedir. Dünyada yenilenebilir enerji kaynakları arasında kurulu güç açısından ilk sırada ise hidrolik yer almaktadır [2]. Uluslararası Enerji Ajansının tahminlerine göre 2040’a kadar olan süreçte, %6,9’luk oran ile yenilenebilir kaynaklar en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynakları olacaktır. Bu kapsamda, sadece hidrolik gücün yıllık ortalama %1,8 büyüme oranına sahip olması beklenmektedir [3].

Hidrolik güç, baz yük elektrik ihtiyacını karşılayabilmesinin yanı sıra, puant ve beklenmeyen güç taleplerini karşılayabilmesi açısından da en tutarlı ve en esnek yenilenebilir enerji kaynağıdır. Türkiye, yıllık 140 milyar kWh’lik hidrolik potansiyeli ve dünya genelinde hidrolik güç kullanımı açısından 7. sıradaki yeri ile bu önemli kaynak açısından fakir olmayan bir ülkedir [2]. 2016 Ekim ayı sonu itibarıyla 78.434 MW

kurulu güçte sahip olan Türkiye’de, %33,7’lik oran ile hidroelektrik santraller ilk sırada yer almaktadır. Yine 2016 Ekim ayı sonu itibarıyla Türkiye’de üretilen 225,6 milyar kWh’lik elektrik üretiminin %25,5’i hidroelektrik santrallerden karşılanmıştır [3]. Bu verilere göre, Türkiye elektrik üretim sektörü açısından hidroelektrik santraller büyük öneme sahiptir ve bu nedenle bu çalışmada, uygulama sahası olarak hidroelektrik santraller seçilmiştir.

Hidroelektrik santraller, su tutma ve su alma yapısı, iletim kanalı ya da tüneli (cebri borular gibi), salyangoz, türbin-generator sistemi, trafolar ve şalt ekipmanlarından oluşan büyük ölçekli sürekli üretim tesisleridir. Bu santraller, günümüzün sürekli gelişen teknolojisi ile santral sahasına dağıtılmış kontrol sistemlerine (DCS) bağlı SCADA sistemleri ile uzaktan ya da bir ana kontrol merkezinden işletme (vardiya) personeli tarafından kumanda edilerek, santralin üretim planına ve/veya otorite kuruluşların verdiği talimatlara göre devreye alınır, çalışma yükü artırılır ya da kapasitesinin daha altındaki yüklerde çalıştırılabilir. Bu tesislerin ekonomik ömürleri, yapılan rehabilitasyonlar sonucunda onlarca yıl uzatılabilmektedir. Buradan hareketle, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de SCADA sistemine sahip olmamasına rağmen halen işletmede olan santraller mevcuttur. Bu hidroelektrik santraller ise, otomasyon seviyesi gelişmiş SCADA sistemlerine göre çok daha düşük olan ana kumanda merkezlerinden ve santral sahasında yer alan ekipmanlara mahallinden müdahale edilmek suretiyle çalıştırılmaktadır. Günümüz teknolojisine nazaran daha eski teknolojiye sahip bu santrallerde çalışan vardiya personelinin sayısı doğal olarak modern hidroelektrik santrallere göre daha fazladır ve bu santraller vardiya personelinin kaynaklanan operatör hatalarına daha müsaittir. Başka bir deyişle SCADA sistemi, gelişmiş yapısı sayesinde santralde insanın etkisini azaltırken, SCADA sistemi olmayan santrallerde vardiya personelinin konsantrasyon eksikliği, yoğun çalışma sonucunda yaşayacağı yorgunluk, tecrübe yetersizliği ve adil çalışma düzeninin olmaması sonucunda motivasyon kaybı yaşaması gibi nedenlerden dolayı hatalı işlemler yaşanabilmekte ve bu durumlar sonucunda uzun süren arızalar ve buna bağlı olarak da milyonlarca kWh enerji ve gelir kaybı yaşanabilmektedir.

Bu kapsamda, özellikle günümüzün gelişmiş teknolojisine sahip olmayan hidroelektrik santrallerin işletilmesinde görevli vardiya personelinin yeterliliklerine göre adil bir plan dahilinde çalıştırılmasının, santral uhdesinde bulunduran şirkete sağladığı ekonomik değeri önemli ölçüde etkilediği şeklindeki bir yorum yanlış olmayacaktır.

3. HEDEF PROGRAMLAMA (GOAL PROGRAMMING)

Günlük ya da iş yaşantısında insanlar, birbirleri ile çelişen ya da ilişkili kriterlere bağlı olarak sürekli kararlar almak durumunda kalmaktadır [4]. Çalışmanın da konusunu teşkil eden elektrik üretiminde personel çizelgeleme gibi uygulandıkları sisteme büyük ölçüde katma değer sağlaması beklenen kritik kararların verilmesi sürecinde, analitik yaklaşımların kullanılması kararların etkinliği açısından son derece önemlidir. Bu bağlamda, bu analitik yaklaşımlar bütününden birisi olan hedef programlama etkin karar vermede sıklıkla kullanılmaktadır. Hedef programlamanın genel amacı, değerleri kesin olarak belirlenen birden fazla amacın, hedef değerlerinden sapmalarını minimize etmektir. Hedef programlamanın matematiksel gösterimi şu şekilde verilebilir [5].

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^k (d_i^- + d_i^+)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i$$

$$x_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad i=1\dots k \quad j=1\dots n$$

Değişkenler

x_j : j . karar değişkeni

a_{ij} : i . hedefin j . karar değişkeni katsayısı

b_i : i . hedef için ulaşılmak istenen değer

d_i^+ : i . hedefin pozitif sapma değişkeni

d_i^- : i . hedefin negatif sapma değişkeni

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Personel çizelgeleme problemleri ile ilgili ilk çalışmalar 1954 yılında Edie [6] ve Dantzing [7] tarafından yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunun sağlık sektöründe yoğunlaştığı söylenebilir. Fakat diğer sektörlerde de farklı çalışma kuralları kullanılarak çalışmalar da bulunmaktadır. Jorne ve arkadaşlarının belirttiği üzere [8], enerji sektöründe çalışan personellerin çalışma planlarının yapılması konusunda literatürde fazla sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu kapsamda, sektörel bazda literatürde yapılan bazı çalışmalara ait örnekler şöyledir:

Sağlık Sektörü: Ovchinnikov ve Milner [9], bir üniversite hastanesinde çalışan stajyer doktorlar için hastanenin belirlediği işgücünü karşılama adına bir

model geliştirmişlerdir. Bag vd. [10], bir devlet hastanesinde çalışan hemşirelerin aylık çalışma planlarının yapılması için bir model sunmuşlardır. Li vd. [11] ise, hedef programlama ve sezgisel hibrit yöntem yaklaşımı ile hemşirelerin çalışma planının düzenlenmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Ismail vd. [12], hemşire çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlar ve geliştirdikleri modeli Malezya'daki bir hastanede uygulamışlardır. Topaloğlu [13], stajyer olarak çalışan doktorları kıdem seviyeleriyle birlikte değerlendirerek bir çizelge oluşturmuştur. Sulak ve Bayhan da [14], hemşire çizelgeleme problemi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Ulaşım Sektörü: Varli vd. [15], Ankara metro hattında çalışan ekiplerin belirli bir zaman diliminde gerekli iş gücünün karşılanması için bir çalışma yapmışlardır. Ankara şehir içi faaliyette olan metro hattındaki vatmanların günlük belirlenmiş olan vardiyalara iş yerinin belirlediği kriterler dikkate alınarak bir çalışma planının oluşturulduğu diğer bir çalışma ise, Varli vd. [16] tarafından gerçekleştirilmiştir. Alfares [17], çalışan personellerin izin günleri için farklı kısıtlamalar kullanarak bir model oluşturmuştur. Avusturalya'da taşımacılık yapan kamyon sürücülerinin çalışma çizelgelerini planlamasına yönelik çalışmalarında Goel vd. [18], önerdikleri modeli Avusturalya Ağır Vasıta Sürücü Yorgunluk Kanununu baz alarak hazırlamışlardır.

Enerji Sektörü: Eitzen vd. [19], bir elektrik üretim santralinde birçok alanda beceriye sahip olan personellerin uzmanlaştıkları iş kollarına atanması için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Lilly vd. [20] çalışmalarında, Nijerya'da hizmet veren bir elektrik üretim şirketinde bakım işlemlerinin yapılabilmesi için bakım iş gücü giderlerinin minimum seviyeye indirilmesi amacıyla bir model önermişlerdir. Yaoyuenyong ve Nanthavani [21], gerekli iş gücünü karşılamak için en az işçiyle çalışmak adına bir çizelge oluşturmuşlardır.

Askeri Alan: Ünal ve Eren [22] çalışmalarında, nöbet çizelgeleme problemi konusunda bir model önermişlerdir. Horn vd. [23], Avusturalya Kraliyet Donanmasında çalışan personeller için sezgisel yöntemlerden faydalanarak bir model oluşturmuşlardır.

Diğer Alanlar: Gordon ve Erkut [24], bir halk müziği festivalinde gönüllü çalışan personellere zaman kazandırmak için bir çalışma planı oluşturmuşlardır. Bard [25], gelen taleplere göre işçi hacmini dengelemek için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Avramidi vd. [26] ise, simülasyon yöntemini kullanarak çağrı merkezindeki personellerin çizelgelenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Heimerl ve Kolisch [27],

önerdikleri tam sayılı programlama modeli ile işçi ücretlerini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Hojati ve Patil [28], tam sayılı programlama yöntemiyle vardiyaların belirlenmesi ve personellerin vardiyalara atanması konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Varli ve Eren [29], bir fabrikada çalışan şeflerin aylık çalışma planlarının yapılması için bir hedef programlama modeli önermişlerdir. Modeli oluştururken şefleri kıdemlerine göre sınıflandırmışlar ve tecrübeli şef ile tecrübesiz şefin aynı vardiyaya mümkün olduğu kadar atanmasını sağlamışlardır. Volgenant [30], personelleri kıdem konusunda sınıflandırarak ihtiyaç duyulan işgücünün karşılanmasını amaçlamıştır. Bektur ve Hasgöl [31] ise, hedef programlama yöntemini kullanarak bir restoranda çalışan personelin haftalık çalışma çizelgesini oluşturmuştur.

5. UYGULAMA (CASE STUDY)

Türkiye’de SCADA sistemine sahip olmayan 90 MW kurulu güce (hidroelektrik santrallerin sınıflandırılmasında 10 MW ve üzeri kurulu güçler büyük ölçekli hidroelektrik santral grubuna girmektedir) sahip büyük ölçekli bir hidroelektrik santralde, personel performansına etki eden temel unsurların ikinci bölümde belirtilen nedenler olduğu gözlemlenmiş ve uzun yıllar ortalamaları incelenerek santralin en yoğun çalıştığı ayların Haziran, Temmuz ve Ağustos olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu aylarda 2016 yılında yaşanan ve vardiya personelinin hatasından kaynaklanan üretim kayıpları da (Haziran ve Temmuz ayları için 44'er saat) dikkate alınarak, 28 vardiya personeli için adil çalışma düzenini ve mümkün olan en üst seviyede performansı üretecekleri bir hedef programlama modeli önerilerek, aynı yılın Ağustos ayında söz konusu modelin çözümü neticesinde oluşturulan çizelgeye göre vardiya personeli çalıştırılmıştır. Bu çizelgenin çalışanlar üzerinde motivasyon ve performans bazlı etkileri çalışmamızın sonuç bölümünde vurgulanmıştır.

5.1. Modelin Ön Şartları (Preconditions of the Model)

Çalışmada önerilen model, uygulamanın gerçekleştirildiği hidroelektrik santralin belirlediği kanuni ve özel şartlara dayanarak hazırlanmıştır:

- Her personel günde sekiz saatten fazla çalışmamalıdır.
- Her vardiyada yedi personel olması gerekmektedir.
- Her personel ardışık olarak en fazla altı gün çalışmalıdır ve altı günün sonunda izin verilmelidir.
- Her vardiyada en az bir tane 1. kıdemden, en az iki tane 2. kıdemden, en az bir tane 3. kıdemden ve en az bir tane 4. kıdemden personel olmak zorundadır.

- Aylık çizelgede her personelin toplam atandıkları vardiya sayıları kıdem seviyelerine göre azalmalıdır. Örneğin 1. kıdemde olan bir personel, diğer kıdemlerde olan personellerden daha az vardiyaya atanmalıdır.
- Her personel çalıştığı vardiyadan sonra bir sonraki çalışacağı vardiyaya atanana kadar en az 12 saat dinlenmelidir.
- Bunların yanı sıra, personelin çalıştığı vardiyaların arasında geçen tatil süresinin mümkün olduğunca azaltılması istenmektedir. Bunun nedeni, kritik ve kompleks olan elektrik üretim sürecinde sürekliliği sağlayarak personelin konsantrasyonunu yüksek tutmak ve bu sayede hataları minimize etmektir.

Yukarıda belirtilen ön şartlar ile birlikte santraldeki 28 vardiya personelinin yeterlilikleri ve santralin işletilmesi için gereklilikler dikkate alınarak adil, dengeli ve personelin performansından en üst seviyede istifade etmeyi sağlamak amacıyla önerilen model aşağıda sunulmuştur.

5.2. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Yılın 365 günü 24 saat esasına göre kesintisiz üretim yapma hedefi ile kurulan elektrik üretim santrallerinde sekiz saatlik üç vardiya vardır. Çalışmanın gerçekleştirildiği hidroelektrik santralde bu vardiyalar; Sabah (08:00-16:00), Akşam (16:00-00:00), Gece (00:00-08:00) şeklindedir. Santralde çalışan personelin kıdem seviyeleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Santralde çalışan personellerin kıdemleri
(Seniorities of the personnel employed in power plant)

Kıdem Seviyeleri	Personeller
1.Kıdem	1,2,3,4,5
2.Kıdem	6,7,8,9,10,11,12,13,14
3.Kıdem	15,16,17,18,19,20,21,22
4.Kıdem	23,24,25,26,27,28

Parametreler

- n : Santralde çalışan personel sayısı $n=28$
 m : Ağustos ayındaki gün sayısı $m=31$
 t : Vardiya sayısı $t=3$
 i : Santralde çalışan personel indeksi, $i=1,2,\dots,n$.
 j : Gün indeksi, $j=1,2,\dots,m$.
 k : Vardiya indeksi $k=1,2,\dots,t$.

Karar Değişkenleri

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & i. \text{ personel } j. \text{ gündeki } k. \text{ vardiyaya atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ personel } j. \text{ günde izinli ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Kısıtlar

1.Kısıt: Her gün, her vardiya için ihtiyaç duyulan personel sayıları.

$$\sum_{i=1}^n X_{ijk} = 7 \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t$$

2.Kısıt: Her vardiyada kıdemlerine göre atanan personel sayıları.

1.kideme sahip personellerden her vardiyada en az bir tane olması gerekmektedir.

$$X_{(1)jk} + X_{(2)jk} + X_{(3)jk} + X_{(4)jk} + X_{(5)jk} \geq 1 \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t$$

2.kideme sahip personellerden her vardiyada en az iki tane olması gerekmektedir.

$$X_{(6)jk} + X_{(7)jk} + X_{(8)jk} + X_{(9)jk} + X_{(10)jk} + X_{(11)jk} + X_{(12)jk} + X_{(13)jk} + X_{(14)jk} \geq 2 \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t$$

3.kideme sahip personellerden her vardiyada en az iki tane olması gerekmektedir.

$$X_{(15)jk} + X_{(16)jk} + X_{(17)jk} + X_{(18)jk} + X_{(19)jk} + X_{(20)jk} + X_{(21)jk} + X_{(22)jk} \geq 2 \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t$$

4.kideme sahip personellerden her vardiyada en az bir tane olması gerekmektedir.

$$X_{(23)jk} + X_{(24)jk} + X_{(25)jk} + X_{(26)jk} + X_{(27)jk} + X_{(28)jk} \geq 1 \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t$$

3.Kısıt: Herhangi bir gün gece vardiyasında çalışan bir personel ertesi gün sabah ve akşam vardiyalarında çalışmamalıdır.

$$X_{ij3} + X_{i(j+1)1} + X_{i(j+1)2} \leq 1 \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m$$

4.Kısıt: Herhangi bir gün akşam vardiyasında çalışan bir personel ertesi gün sabah vardiyasında çalışmamalıdır.

$$X_{ij2} + X_{i(j+1)1} \leq 1 \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m$$

5.Kısıt: Her personel altı günden fazla art arda çalışmamalıdır.

$$h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} \geq 1 \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m-6$$

6.Kısıt: Her personel izinli olduğu gün çalışmamalıdır.

$$\sum_{k=1}^l X_{ijk} \leq (1 - h_{ij}) \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m$$

7.Kısıt: Her personelin planlama yapılan toplam gün boyunca en fazla çalışması gereken vardiya sayıları

1., 2. ve 3. kідeme sahip personeller en fazla dokuz defa akşam vardiyasında çalışmalıdır.

$$\sum_{j=1}^m X_{ij2} \leq 9 \quad i=1..22$$

Bu kısıtlar, her personelin kıdem seviyesine göre en fazla çalışması gereken gece vardiyası sayıları içindir.

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \leq 7 \quad i=1..5$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \leq 8 \quad i=6..14$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \leq 9 \quad i=15..22$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \leq 10 \quad i=23..28$$

8.Kısıt: Her personelin planlama yapılan toplam gün boyunca en az çalışması gereken vardiya sayıları

Sabah ve akşam vardiyalarında her personel en az altı defa çalışmalıdır.

$$\sum_{j=1}^m X_{ijk} \geq 6 \quad i=1,2,\dots,n \quad k=1,2$$

Bu kısıtlar, her personelin kıdem seviyesine göre en az çalışması gereken gece vardiyası sayıları içindir.

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \geq 6 \quad i=1..5$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \geq 7 \quad i=6..14$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \geq 8 \quad i=15..22$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij3} \geq 9 \quad i=23..28$$

9.Kısıt: Her personel günde sadece bir vardiya atanmalıdır.

$$\sum_{k=1}^l X_{ijk} \leq 1 \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t$$

Hedef Kısıtları

Hedef 1: Her personelin kıdemine göre toplam atandığı vardiyalar mümkün olduğu kadarıyla eşit olmalıdır.

1. kідeme sahip personeller

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t X_{ijk} + n1_i^- - n1_i^+ = 22 \quad i=1,2,3,4,5$$

2. kідeme sahip personeller

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t X_{ijk} + n2_i^- - n2_i^+ = 23 \quad i=6,7,8,9,10,11,12,13,14$$

3. kідeme sahip personeller

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t X_{ijk} + n3_i^- - n3_i^+ = 23 \quad i=15,16,17,18,19,20,21,22$$

4. kідeme sahip personeller

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t X_{ijk} + n4_i^- - n4_i^+ = 25 \quad i=23,24,25,26,27,28$$

Hedef 2: Her personel için çalışma-tatil-çalışma günleri en aza indirgenmelidir.

$$h_{ij} + X_{i(j+1)1} + X_{i(j+1)2} + X_{i(j+1)3} + h_{i(j+2)} + n5_{ij}^- - n5_{ij}^+ = 2 \quad i=1,2,\dots,28 \quad j=1,2,\dots,29$$

Hedef 3: Her personel için tatil-çalışma-tatil günleri en aza indirgenmelidir.

$$X_{ij1} + X_{ij2} + X_{ij3} + h_{i(j+1)} + X_{i(j+2)1} + X_{i(j+2)2} + X_{i(j+2)3} + n6_{ij}^- - n6_{ij}^+ = 2 \quad i=1,2,\dots,28 \quad j=1,2,\dots,29$$

2. ve 3. hedef kısıtları kuruluşun belirlediği ön şartlar arasında belirtilen hedefi yansıtmaktadır.

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } \text{Min}Z = \sum_{j=1}^m n1_j^- + n1_j^+ + n2_j^- + n2_j^+ + n3_j^- + n3_j^+ + n4_j^- + n4_j^+ + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n5_{ij}^- + n5_{ij}^+ + n6_{ij}^- + n6_{ij}^+$$

Önerilen model, ILOG CPLEX Studio IDE programında yazılmış ve CPLEX çözücüsü ile

çözülerek elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Santralde çalışan personellerin Ağustos 2016 vardiya çizelgesi
(August 2016 shift schedule of the personnel employed in power plant)

Personel/Çiñn	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	S	A	G	TOPLAM
1	S	S	A	A	A	A	A	G		S	G		S	A			S	S	S	A	G			S	S			G	G	G	9	7	6	22	
2	A		S	S	A	G	G	G		S	G		S	S	S	A	A	A		A	G		S	G			S	S	S			10	6	6	22
3	G	G				S	S			S	S	G	G		G	G		S	S	S	A	A	A		S	S	A	A	A	A	A	9	7	6	22
4			G	G	G			S	A	A	A	A	A		S	S	S	A		S	S	G		G	G	G		S	S	S	9	6	7	22	
5	S	A		S	S	S	S		S	G			S	A	G		S	G	G	G				S	A	A	A	G		S	A	10	6	6	22
6	S	S	S	S	S		A	A	A	A	A		A	A	G	G			S	S	A	G	G		S	G	G		S	G	9	7	7	23	
7	S			A	A	G	G	G			S	S	A	A	G		S	S	A	A		G	G	G		A	A	A		A	A	6	9	8	23
8	A		S	S	G	G		A	A	G	G	G		S	S	S		G	G		S	A		A	A	A	A		A	G		6	9	8	23
9	A	G	G		S	S	S	S	A	A				S	G		A	A	G	G	G	G		S	S		S	S	A	A	9	7	7	23	
10	G	G	G		G	G		S	S	S		S	S	S	A	A	A		A	A	A		A	A		A	G	G	G			6	9	8	23
11	G		A	A	A	A	A	G			S	S	S		S	S	S			S	A	G		S	G		S	S	G	G	G	10	6	7	23
12		S	S	G		A	G		S	S	A	A	A	A		G	G	G	G			S	S	S	S	G			S	A	A	9	7	7	23
13	A	A	A	G			S	G	G			A	G	G		A	A	A	G	G	G		S	S	S		S	A	A		S	6	9	8	23
14		A	A	G		S	S	A		G	G	G	G	G	G			S	S	A		S	A	A	A	A	A			S	S	7	9	7	23
15	S	S	A	A	A	A			A	A	A	G	G		S	S	G	G		G	G	G			S	S	A	A			G	6	9	8	23
16	A	A			S	A	A		S	S		A	G	G		S	S	G	G		S	S	S	G	G		A	A	G	G		8	7	8	23
17	G			A	A	A		S	S	S			A	A	A	A	G	G		S	A	G	G	G		S	G	G	G		S	6	8	9	23
18	A	A		S	G		G	G		S	S	S	S	G		A	A	A	A		A	A	A		G	G	G	G			S	6	9	8	23
19	S	G	G		A	G	G		S	A	A	A	G		S	G		S	S	S	S	S			A	G		S	A	G		9	6	8	23
20	G	G	G	G			A	A	G	G	G			S	G		A	A	A	A		S	S	S	A	A			S	S	S	7	8	8	23
21	G			S	S	S	S	S	A		S	A	A	A	G		S	A				G	G	G		G	G		A	A	A	7	8	8	23
22		S	S	A	G			S	G	G	G	G		S	A	G		S	A	G		S	A	A	A		S	S	S	A	G	8	7	8	23
23	A	A	A		S	S	G	G	G	G		S	S	S	A	A	A			S	A	A	G	G	G		A	A	G	G		6	10	9	25
24	G	G	G		G	G	G			S	S	A	A	G		S	S			S	S		A	A	A		A	A	A	G	7	9	9	25	
25	S	S	S	S	S		A	A	A	A	A	G		A	A	G			G	G	G	G		S	A	A	G	G		A	6	10	9	25	
26		S	S	A	A	A	A	S	S	A	A	A	G		S	A	G	G	G			S	S	A	G	G		G	G		G	7	9	9	25
27		G	G	G		S	S	A	A	A	G	S		G	G	G	G		S	A		A	A	A	G		S	S	S	S	9	7	9	25	
28		A	A	G	G	G		S	G	G	G	G		S	S		A	A	A	G		S	S	S	S	S	S		S	A	10	6	9	25	

Vardiyalar S: Sabah A: Akşam G: Gece

6. SONUÇLAR (RESULTS)

Personel çizelgeleme, adil ve dengeli bir çalışma planı üretmesi ile çalışanların motivasyonunu artırması açısından personel performansına olumlu etkiler sağlayan yöneylem araştırmasında önemli bir çalışma alanıdır. Bunun yanı sıra, milyarlarca dolarlık yatırım bütçeleri ve karmaşık üretim ve bakım-onarım süreçleri ile birkaç saatlik duruşların dahi önemli ekonomik ve toplumsal etkiler doğuracağı elektrik üretim santrallerinde, çıktısı olan elektrik enerjisinin politik, sosyo-ekonomik ve diplomatik açıdan günümüzün vazgeçilmez tüketim noktalarından birisi olması gerçeği dikkate alındığında, kalifiye personellerin performans düzeylerinin sürekli olarak en üst düzeyde kalacak şekilde istihdam edilmeleri bir gereklilik haline almaktadır.

Bu bağlamda bu çalışmada, halihazırda Türkiye elektrik üretim sistemi içerisinde yer alan ve 90 MW kurulu güce sahip olan bir hidroelektrik santralde,

santralin en yoğun çalıştığı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yorgunluk ve motivasyon eksikliğine bağlı olarak operatör hatası nedeniyle önemli arızaların yaşandığı tespit edilmiştir. 2016 yılında bu arızalardan kaynaklanan duruş süresi santralde Haziran ve Temmuz ayları için 44'er saattir. Bu duruşlar, 90 MW kurulu güce sahip olan söz konusu hidroelektrik santralde 3,96 milyon kWh enerjinin her bir ay için üretilmemesi anlamına gelmektedir ve bu enerji kaybının 2016 toptan elektrik satış fiyatı olan 14,87 kr/kWh'lik [32] değer açısından karşılığı Haziran ve Temmuz ayları için ayrı ayrı olmak üzere 588.852 TL'dir.

Vardiya personelinin çalışma planının oluşturulmasında yapılan hatalara bağlı yaşanan kayıpların önüne geçilmesi için bu çalışmada, santral sahibi kuruluşun uyması gereken yasal zorunluluklar ve çalışma prensipleri dikkate alınarak her bir vardiya personeli için çalışma günlerini dengeleyecek kısıtlar oluşturulmuş ve personellerin Ağustos ayı çalışma

planları, kıdem seviyelerine göre toplam vardiya atamalarının hiyerarşik bir şekilde olması, gece vardiyalarının kıdem seviyeleri ile orantılı bir şekilde dağıtılması, izin günlerinin düzenlenmesi ve her bir personelin dengeli ve adaletli bir şekilde vardiyalara atanması gibi iyileştirmeler gerçekleştiren ve bu çalışma kapsamında önerilen hedef programlama modelinin çözümü neticesinde elde edilmiştir. Ağustos ayında bu vardiya çizelgesinin kullanımı neticesinde ay sonu yapılan analizde operatör hatasına bağlı olarak yaşanan üretim duruşunun 4 saate indiği tespit edilmiştir. Bu da, %91'lik bir iyileşmenin sağlandığı anlamına gelmektedir.

Elektrik üretim santrallerinde santralden kaynaklı duruşların beraberinde getirdiği önemli ekonomik kayıpların söz konusu olması, bu çalışmada personel çizelgelemesi sonucunda elde edilen tatminkar sonuçlar ve enerji sektöründe personel çizelgeleme probleminin nadiren kullanılması ile literatüre bu çalışmanın sağlayacağı katkıya dayanarak, ileri bir çalışma olarak hem vardiya personelleri hem de bakım-onarım personelleri birlikte değerlendirilerek yeni modeller önerilebilir. Ayrıca, bu çalışmada ele alınan çalışma alanı, personel niteliklerinin tamamının çok kriterli karar verme yöntemleri ya da istatistiksel yöntemler gibi analitik yöntemler ile farklı bakış açılarıyla da değerlendirilebilir.

7. KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy, B. Owens, D. Sier, "An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering", *Annals of Operations Research*, 127, 21- 144, 2004.
- [2] REN 21, "Renewables 2015 Global Status Report", **REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**, 2016.
- [3] B. Albayrak, "2017 Yılı Bütçe Sunumu", **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, 2016.
- [4] E.C. Özcan, U. Küçükyarar, "Assessment of Potential Southern Gas Corridor Projects with a Combined Methodology", **23rd World Energy Congress**, World Energy Council, İstanbul, 09-13 Ekim, 105-121, 2016.
- [5] W.W. Charnes, "Goal Programming and Multiple Objective Optimizations", *European Journal of Operational Research*, 1, 39-54, 1977.
- [6] L. C. Edie, "Traffic Delays at Toll Booths", *Operations Research*, 2, 107-138, 1954.
- [7] G. B. Dantzig, "Letter to the editor—A comment on Edie's "Traffic delays at toll booths". *Operations Research*, 2, 339-341, 1954.
- [8] V.B. Jorne, B. Jeroen, D. B. Philippe, D. Erik, D. B. Liesje, "Personnel Scheduling: A Literature Review", *Hub Research Papers 2012/43, Economics & Management*, 2012.
- [9] Ovchinnikov, J. Milner, "Spreadsheet Model Helps to Assign Medical Residents at the University of Vermont's College of Medicine", *Interfaces*, 38, 311-323, 2008.
- [10] N. Bağ, M. Özdemir, T. Eren, "0-1 Hedef programlama ve ANP Yöntemi ile Hemşire Çizelgeleme Problemi Çözümü", *International Journal of Engineering Research and Development*, 4, 1, 2012.
- [11] J. Li, E. K. Burke, T. Curtois, S. Petrovic, Q. Rong, "The Falling Tide Algorithm: A New Multi-Objective Approach for Complex Workforce Scheduling", *Omega*, 40, 283-293, 2012.
- [12] W.R. Ismail, R. Jenal, N.A. Hamdan, "Goal Programming Based Master Plan for Cyclical Nurse Scheduling", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 46(1): 499-504, 2012.
- [13] S. Topaloglu, "A Shift Scheduling Model for Employees with Different Seniority Levels and an Application in Healthcare", *European Journal of Operational Research*, 198, 943-957, 2009.
- [14] H. Sulak, M. Bayhan, "A Model Suggestion and an Application for Nurse Scheduling Problem", *Journal of Research in Business, Economics and Management (JRBEM)*, 2395-2210, 2016.
- [15] E. Varlı, T. Eren, M. A. Gençer, S. Çetin, "Ankara Metroşu M1 Hattındaki Vatmanların Vardiya Saatlerinin Çizelgelenmesi", **3. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu**, Karabük, 279-285, 2016.
- [16] E. Varlı, M. A. Gençer, T. Eren, "Ankara Metro Hatları Vardiya Saatlerinin Çizelgelenmesi", **9. Uluslararası İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı**, 2016.
- [17] H.K. Alfares, "Compressed Work Week Scheduling with Days off Consecutively, Weekend off Frequency, and Work stretch constraints", *Infor*, 44, 175-189, 2006.
- [18] A. Goel, C. Archetti, M. Savelsbergh, "Truck Driver Scheduling in Australia", *Computers & Operations Research*, 39, 1122-1132, 2012.
- [19] G. Eitzen, D. Panton, G. Mills, "Multi-Skilled Workforce Optimization", *Annals of Operations Research*, 127, 359-372, 2004.
- [20] M.T. Lilly, I. Emovon, S.O.T. Ogaji, S.D. Probert, "Four-Day Service-Staff Workweek in order to Complete Maintenance Operations More Effectively in a Nigerian Power Generating Station", *Applied Energy*, 84, 1044-1055, 2007.
- [21] K. Yaoyuenyong, S. Nanthavanij, "Energy-based Workforce Scheduling Problem: Mathematical model and Solution Algorithms", *Science Asia*, 31, 383-393, 2005.
- [22] F.M. Ünal, T. Eren, "Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme Probleminin Çözümü", *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1): 28-37, 2016.
- [23] M. Horn, H. Jiang, P. Kilby, "Scheduling Patrol Boats and Crews for the Royal Australian Navy", *Journal of the Operational Research Society*, 58, 1284-1293, 2007.
- [24] L. Gordon, E. Erkut, "Improving Volunteer Scheduling for the Edmonton Folk Festival" *Interfaces*, 34, 367-376, 2004.
- [25] J. F. Bard, "Selecting the Appropriate Input Data Set when Configuring a Permanent Workforce", *Computers & Industrial Engineering*, 47, 371-389, 2004.
- [26] N. Avramidis, W. Chan, M. Gendreau, P. L'Ecuyer, O. Pisacane, "Optimizing Daily Agent Scheduling in a Multi Skill Call Center", *European Journal of Operational Research*, 200, 822-832, 2010.

- [27] Heimerl, R. Kolisch, "Scheduling and Staffing Multiple Projects with a Multi-Skilled Workforce", *OR Spectrum*, 32, 343-368, 2010.
- [28] M. Hojati, A. S. Patil, "An Integer Linear Programming-based Heuristic for Scheduling Heterogeneous, Part-time Service Employees", *European Journal of Operational Research*, 209, 37-50, 2011.
- [31] G. Bektur, S. Hasgöl, "Kıdem Seviyelerine Göre İşgücü Çizelgeleme Problemi: Hizmet Sektöründe Bir Uygulama", *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İİBF Dergisi*, 15(2): 387-402, 2013.
- [29] E. Varlı, T. Eren, "Vardiya Çizelgeleme Problemi ve Bir Örnek Uygulama", *International Journal of Informatics Technologies*, 2016. (Basımda)
- [30] A. Volgenant, "A Note on the Assignment Problem with Seniority and Job Priority Constraints", *European Journal of Operational Research*, 154, 330-335, 2004.
- [32] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), "2016 Toptan Elektrik Satış Fiyatı", 2016.

3D Printer Selection by Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and PROMETHEE

Cihan ÇETİNKAYA¹, Mehmet KABAK², Eren ÖZCEYLAN³

¹Department of Industrial Engineering, Gaziantep University, 27310, Gaziantep, Turkey

²Department of Industrial Engineering, Gazi University, 06500, Ankara, Turkey

cihancetinkaya@gmail.com, mehmetkbk@gmail.com, erenozceylan@gmail.com

(Geliş/Received:11.01.2017; Kabul/Accepted:22.08.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.347610

Abstract – A 3D printer is a device which is used to produce three-dimensional objects from a digital 3D file. The 3D printers were very expensive and not really affordable for the general public so they were being used only by firms. But nowadays, 3D printers are more accessible to the public with competitive prices and many different models. This situation reveals the problem of choosing the best alternative among these printers. In this paper, we handle the 3D printer selection problem of a company which is in 3D production business. Since there is no study in literature that uses a hybrid Fuzzy AHP and PROMETHEE for selecting a 3D printer, it is believed that this paper can help the decision makers about their 3D printer selection decisions. Another importance of the paper can be introduced as being a real life guide for a real life problem of a company. To solve the problem, firstly the selection criteria are obtained from the company. Then, selection criteria are prioritized using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and potential 3D printers are ranked using PROMETHEE. Finally, the best 3D printer is chosen for the company among five close alternatives.

Keywords – 3D printer, Fuzzy AHP, PROMETHEE, Additive manufacturing

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve PROMETHEE Yöntemi İle 3D Yazıcı Seçimi

Özet – 3B yazıcılar, dijital ortamda bulunan ürün dosyalarını kullanarak 3 boyutlu cisimlerin üretiminin gerçekleştirildiği yazıcılardır. Piyasaya sürüldükleri ilk zamanlarda 3B yazıcılar sadece büyük işletmeler tarafından kullanılan çok pahalı cihazlardı. Ancak zamanla 3B yazıcı üreticilerinin sayılarının artması ile artan rekabet ortamında bir yandan yazıcı çeşitleri artmış diğer taraftan da satış fiyatları düşmüştür. Yazıcı sayılarının ve çeşitlerinin artması ise en uygun yazıcı tipinin seçimi gibi bir problemin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu çalışmada, 3B yazıcı sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için alternatifler arasından en iyi 3B yazıcı seçim problemi ele alınmıştır. 3B yazıcı seçimi için bulanık analitik hiyerarşi süreci (AHS) ve PROMETHEE yöntemlerinin kullanıldığı melez bir çalışmaya literatürde rastlanılmadığı için bu çalışmanın karar vericilerin söz konusu probleme yaklaşımlarına yardımcı olacağına inanılmaktadır. Çalışmanın diğer bir önemli noktası ise gerçek hayat problemine çözüm aramasıdır. Bu çalışmada 3 aşamalı bir çözüm yaklaşımı uygulanmıştır. İlk aşamada 3B yazıcı seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler netleştirilmiştir. İkinci aşamada söz konusu kriterler bulanık AHS yöntemi ile ağırlıklandırılmış, alternatif 3B yazıcılar ise PROMETHEE yöntemi ile sıralanmıştır. Son aşamada ise, en iyi 3B yazıcı 5 alternatif arasından seçilmiştir.

Anahtar kelimeler – 3D yazıcı, Bulanık AHS, PROMETHEE, Eklemeli üretim

1. INTRODUCTION

Additive manufacturing (AM), also known as 3D printing, means turning a digital model to an object by building them layer-by-layer. This differs from conventional processes such as subtractive processes (i.e., milling or drilling), formative processes (i.e., casting or forging), and joining processes (i.e., welding or fastening) [1]. Additive manufacturing has received tremendous attention recently. According to Wohlers Report 2014, the

worldwide 3D printing industry is expected to grow from \$3.07 billion in revenue in 2013 to \$12.8 billion by 2018, and exceed \$21 billion in worldwide revenue by 2020 [2].

While 3D printers work in a manner similar to traditional laser or inkjet printers, rather than using multi-colored inks, the 3D printer uses powder that is slowly built into an image on a layer-by-layer basis. All 3D printers also use 3D CAD software that measures thousands of cross-sections of each product to determine exactly how each

layer is to be constructed. The 3D machine dispenses a thin layer of liquid resin and uses a computer-controlled ultraviolet laser to harden each layer in the specified cross-section pattern. At the end of the process, excess soft resin is cleaned away through use of a chemical bath. 3D printers can produce simple objects, such as a gear, in less than 1 hour [3]. There are a lot of 3D printers on the market today that have varying specifications, which in turn cater to different demands. There are a few elements to consider when it comes to select the best 3D printer. The first one is generally the budget. Various 3D printers come with different costs and hence the budget is affected. The production speed of the printer and the filament diameter can be among other acceptable criteria. In this context, multi-criteria decision analysis technique can be used as a decision making tool [4].

In this paper, the 3D printer selection problem of a company which is in 3D production business in Gaziantep/Turkey currently is taken into account. To solve the problem, firstly the selection criteria are obtained from the company. Then, selection criteria are prioritized using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and potential 3D printers are ranked using PROMETHEE. The paper is organized as follows; first section defines the problem followed by the second section which includes the related literature. Third section gives details about our methodology, while fourth section contains details about the computational analysis respectively. Conclusion section summarizes the study and discusses further areas for this study.

2. LITERATURE REVIEW

The related literature of this paper can be examined in two different sections. First mention about the methodology related literature that we apply on this study then we focus on the main topic of this paper.

2.1. The methodology related literature

Since we use Fuzzy Analytic Hierarchy Process and PROMETHEE in this paper as our tools, we focus on the papers conducted with the same methodology in this section of the literature. Rao and Patel [4] examine the decision makers in manufacturing sector. Their paper helps to understand and solve this important decision problem using AHP and the fuzzy logic integrated with PROMETHEE. The suggested methodology can be used for any type of selection problem involving any number of selection criteria. Then, Alp et al. [5] examines the garage location selection problem for a firm in urban passenger transport sector in Istanbul. The criteria are determined first and then the problem is solved using multi-criteria decision making techniques. They use fuzzy AHP for the weights of all sub-criteria and after that they use these weights in the PROMETHEE for ranking. Later, Brajlilih et al. [6] aims to establish a general method for evaluation of AM machines. They define a schematic that enables description of all currently available AM machines. Their method is used to test four different

machines that are predominantly used in Slovenia at that moment. Research has proven that the machine's yield had a predominant influence on the achievable manufacturing speeds of all the tested machines.

Taha and Rostam [7] present a decision support system to select the best alternative machine using a hybrid approach of fuzzy AHP and PROMETHEE. A MATLAB- based fuzzy AHP is used to determine the weights of the criteria and the PROMETHEE method is applied for the final ranking. The proposed model is structured to select the most suitable computer numerical controlled turning centre machine for a flexible manufacturing cell among the alternatives which are assigned from a database created for this purpose. It is concluded that the proposed model has the capability of dealing with a wide range of desired criteria and to select any type of machine tool required for building an FMC. Avikal et al. [8] proposes a heuristic to assign the disassembly tasks/parts to the work stations under its precedence constraints. It incorporates fuzzy AHP and PROMETHEE method for the selection of tasks for assignment to the disassembly line. The Fuzzy AHP has been used to find the relative importance of each criteria and PROMETHEE method has been used for prioritizing the tasks for assignment. The proposed heuristics has been illustrated with an example and the results have been compared to the heuristic proposed by McGovern and Gupta. The proposed heuristic performs well and has shown improvements in terms of cycle time and idle time of the workstations. Finally, Kabir and Sumi [9] propose a simple, systematic and logical scientific approach to evaluate power substation location through integrating fuzzy AHP with PROMETHEE. The proposed integrated approach provides more realistic and reliable results, and facilitates the decision-maker to handle multiple contradictory decision perspectives through eliminating the limitations of FAHP and PROMETHEE methods. To accredit the proposed model, it is implemented in a power substation location selection problem in Bangladesh.

Above mentioned papers are related to our study with similar methodology, now we mainly focus on the papers with close topics to our paper.

2.2. Topic related literature

Since our topic is the selection of 3D printers, we include the selection of rapid prototyping machines (first 3D printers) as our related topic.

Byun and Lee [10] deals with the selection of an optimal rapid prototyping system that best suits the end use of a part by using multiple attribute decision making and the test part designed with conjoint analysis to reflect users' preference. Evaluation factors that significantly affect the performance of an RP system such as accuracy, roughness, strength, elongation, parts cost and build time are presented as linguistic values that can be described with triangular fuzzy numbers and an appropriate rapid prototyping process is selected using a modified technique of order preference by a similarity to ideal solution (TOPSIS) method. Then, Roberson et al. [11]

evaluates the capability of five desktop AM machines based on the ability to produce a standard component. Their work also developed a model/method for evaluating and ranking AM technologies based on select criteria that can facilitate purchasing decisions. The research highlights the differences between AM units and suggests a method by which to ascertain the differences. In another recent study Agarwal et al. [12] focuses on a hybrid multiple-criteria decision making tool for selecting an appropriate 3D printer based on the Deng’s Similarity based approach. Both analytic network process (ANP) and similarity based method have been used to rank the alternatives according to the desired criteria. While ANP gives the proper weight age of the criteria taking into consideration the consequences and priorities, the similarity based method ranks them accordingly considering the human choice as well. Terminally, Kek et al. [13] aims to select environmentally friendlier Rapid Prototyping processes without compromising required mechanical properties. A conceptual model comprising 25 criteria (both traditional and environmental) has been developed. A Fuzzy ANP-TOPSIS methodology has been adopted for this purpose. Finally, a decision support system has been developed using MATLAB software to mitigate the associated computational difficulty.

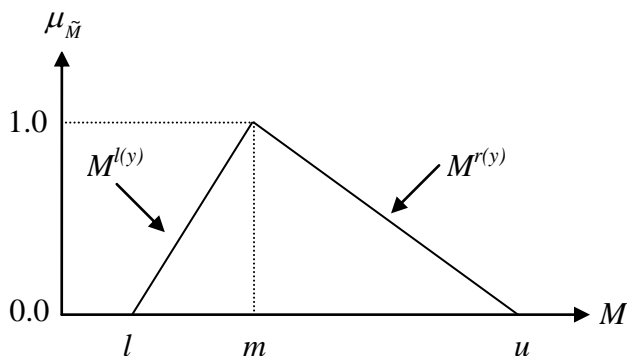


Figure 1. A triangular fuzzy number, \tilde{M}

As it can be realized there is no study in literature that uses Fuzzy AHP and PROMETHEE for selecting a 3D printer. Thus we apply this state of art hybrid technique for determining the best 3D printer for the company. Next we define the selection criteria obtained from the company.

3. APPLIED METHODS

This section first presents a brief introduction on Fuzzy Set Theory, AHP and PROMETHEE methods, followed by the same for proposed integrated approach.

3.1. The Fuzzy Set Theory and Analytic Hierarchy Process

Human judgment on qualitative attributes is always subjective and imprecise. Therefore, the fuzzy set theory is commonly used in decision making problems based on human judgements. Fuzzy numbers expand on the idea of the confidence interval and are defined over a fuzzy subset of real numbers. A triangular fuzzy number (TFN) shown in Figure 1 is a type of fuzzy number and, should possess the some basic properties [14].

A fuzzy number \tilde{M} defined on \mathfrak{R} is a TFN if its membership function $\mu_{\tilde{M}}(y) : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1]$ is equal to

$$\mu_{\tilde{M}}(y) = \begin{cases} (y-l)/(m-l), & l \leq y \leq m \\ (u-y)/(u-m), & m \leq y \leq u \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

(1)

where l, u, m are real numbers and $l \leq m \leq u$. The linguistic variable scale and the corresponding TFNs used in this study are shown in Table 1.

Table 1. The fuzzy linguistic scale

Linguistic terms for importance	TFN	TFN (reciprocal)
Equal important (E)	1, 1, 1	1, 1, 1
Weak important (W)	2, 3, 4	1/4, 1/3, 1/2

In this study, the fuzzy set theory is incorporated with AHP through an evaluation form that uses linguistic variables. The value of the linguistic variables that a DM has assigned to the pairwise comparison between each two criteria is converted into TFN scores. The AHP methodology which is applied for this paper is explained below.

The Analytic Hierarchy Process (AHP) was developed by Thomas L. Saaty in the 1970s and it is a practical multi-criteria decision making method to calculate weights/priorities. The method does not require special knowledge and can be simply applied. It allows individual or group decision making process, quantitative and qualitative values can be used in a pairwise comparison

Strong important (S)	4, 5, 6	1/6, 1/5, 1/4
Demonstrated important (D)	6, 7, 8	1/8, 1/7, 1/6
Absolute important (A)	8, 9, 10	1/10, 1/9, 1/8

and criteria weights are calculated by pairwise comparison of decision makers [15-16]. The readers can find details about the steps of AHP in different papers [17-19]. In this study, the fuzzy AHP approach is used to determine criteria weights.

3.2. The PROMETHEE method

The PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations) is a MCDM method introduced by Brans and Vincke [20] and developed by Brans et al. [21]. It is well adapted to problems where a finite number of alternatives are to be ranked according to several, sometimes conflicting criteria by using six different functions [22]. The

evaluation table is the starting point of the PROMETHEE method. Alternatives are evaluated according to the different criteria and preferences (min/max, criteria weights, preference functions, thresholds) are declared in the evaluation table. The implementation of PROMETHEE requires two additional types of information; criteria weight and DMs' preference function. The weights coefficients can be determined with different methods [23, 24]. AHP method is used to determine the criteria weights in this study. Researchers can find easily the detailed steps of PROMETHEE method in different papers [25, 26].

3.3. Proposed methodology

The integrated approach -combination of fuzzy AHP and PROMETHEE methods- for the 3D printer selection problem consists of 3 basic stages: (1) determination of criteria, (2) fuzzy AHP computations to prioritize the criteria, (3) PROMETHEE computations to rank the alternatives. In the first stage, criteria and sub-criteria used for evaluating 3D printers are derived first from the literature and experts' opinions. Alternative machines are determined and the hierarchical structure is formed. In the last step of the first stage, the decision model is approved by experts. Following determination of the hierarchical structure and the approval of the decision model,

evaluation of criteria with fuzzy AHP is realized in the second stage. In this phase, pairwise comparison matrices are formed to determine the criteria weights. The experts make individual evaluations to compare the criteria linguistically. Then the linguistic evaluations are converted to triangular fuzzy numbers (TFN). Computing the geometric mean of the values obtained from individual evaluations, a final pairwise comparison matrix on which there can be a consensus found. The local weights of the criteria and sub-criteria by using pairwise comparison matrices are determined. At the last step of this phase, after calculated weights of the criteria are approved by decision making team and the crisp values for fuzzy weights are calculated. After the determination the relative weights of qualitative criteria, these weights are used as coefficients of PROMETHEE model in the third stage. Preference functions and parameters to be used for PROMETHEE computations are determined by the decision making team. After the approval of the functions -partial ranking with PROMETHEE-I- complete ranking with PROMETHEE-II and GAIA plane are determined by using Decision Lab software. In the last step of the proposed procedure, the best 3D printer is selected according to the ranking results. Schematic representation of the proposed approach is presented in Figure 2.

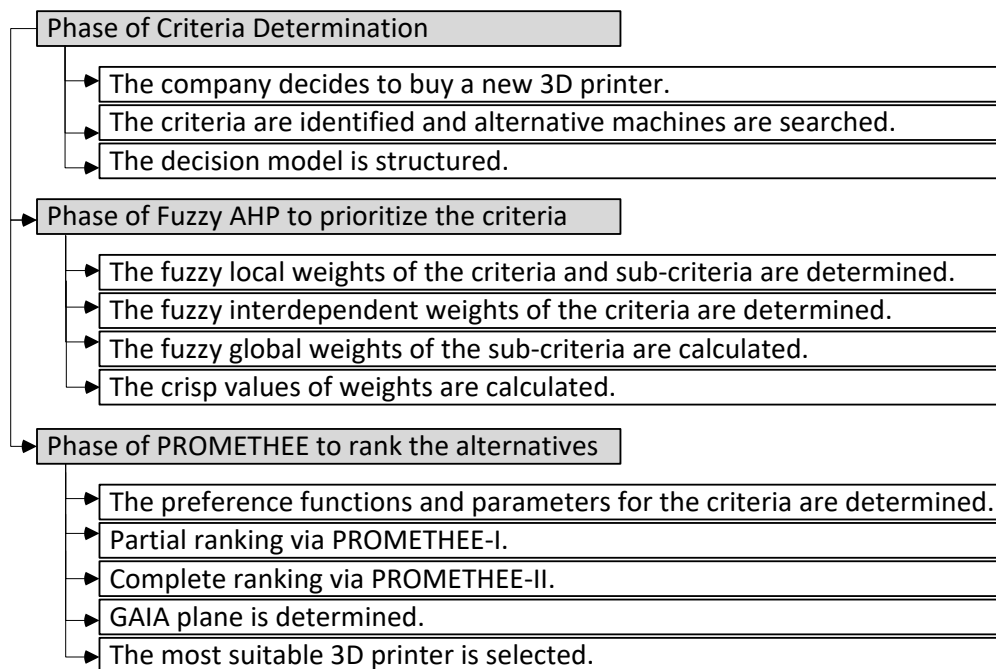


Figure 2. Schematic representation of the proposed approach

4. A REAL CASE APPLICATION

The proposed 3D printer selection model discussed herein is applied in a R&D company, which operates in 3D production industry for 2 years, located in Gaziantep Technopolis. The company would like to purchase a 3D printer to increase its efficiency and reduce cost at long terms by replacing its traditional machines. It is a known fact that the high technology 3D printers make significant

improvements in the manufacturing processes and correct decisions made at this stage can bring competitive advantage to the companies. There a lot of 3D printer brands in practice to choose one among them [27]. Therefore, selecting the most suitable 3D printer is very important for the company and it is hard to determine the most suitable one which dominates each of them in varying characteristics.

4.1. Phase of criteria determination

Firstly the decision making team, which take a part in 3D printer selection process, is formed. The decision committee comprised of two industrial engineers working for the company and one advisor is constructed. Subsequently, a detailed interview is carried out with the committee to settle evaluation criteria and 3D printer alternatives. In this stage, a questionnaire concerning the assessment of the qualitative and quantitative criteria for

the 3D printer is prepared and conducted. With a preliminary work, this decision making team determined five possible 3D printers suitable for the needs and budget of the company. Consequently, 17 evaluation criteria are determined. These criteria can be grouped into four main criteria namely technical, economic, performance and environmental. Decision hierarchy structured with the determined alternative printers and criteria is provided in Figure 3.

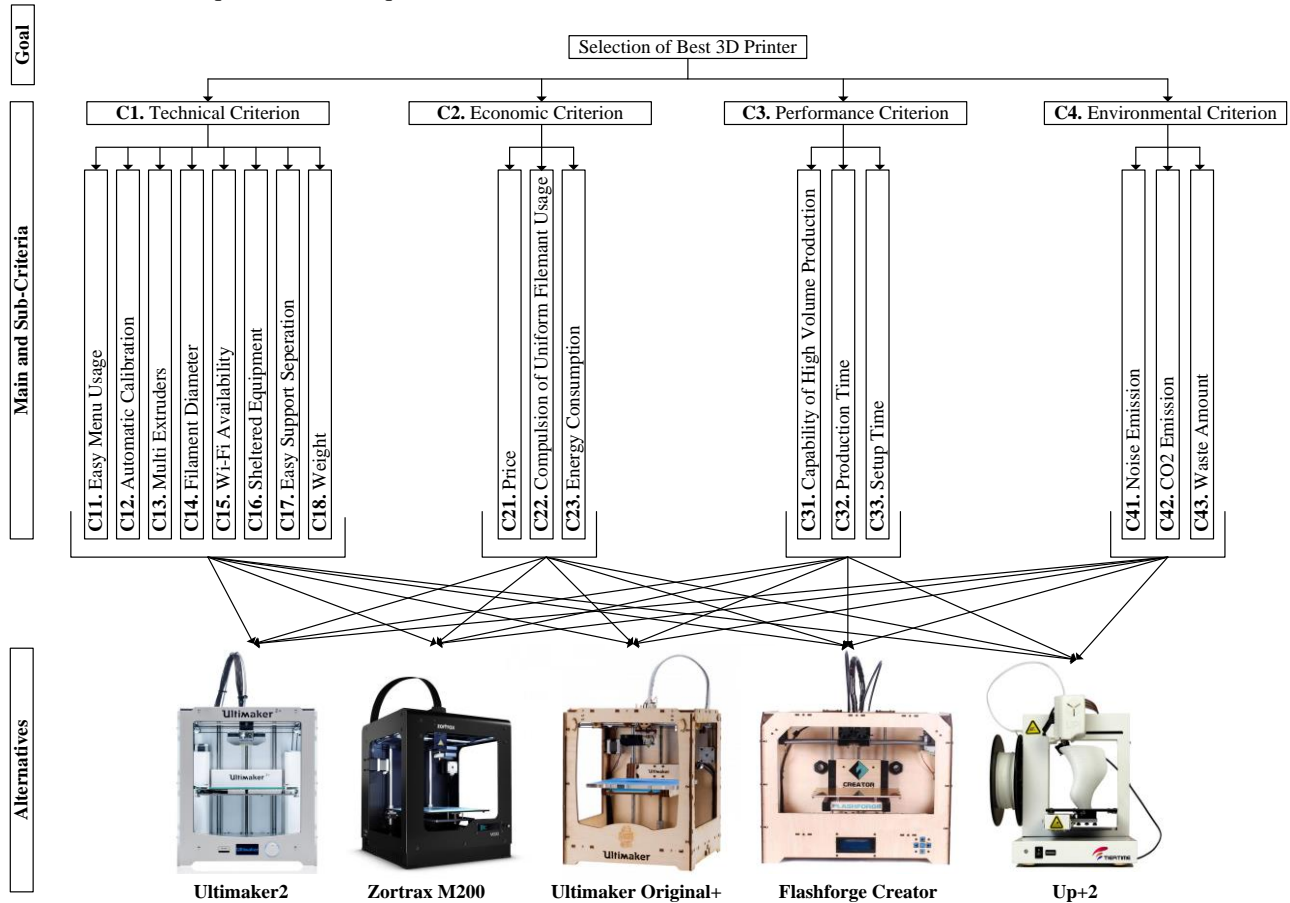


Figure 3. Hierarchy structure of the 3D printer selection

4.2. Phase of Fuzzy AHP to prioritize the criteria

The proposed model is composed of 3 stages. The first one includes the objective of the model, determined as selection of the best 3D printer. The second step includes criteria to be used in the measurement of printer selection. The main criteria are connected to the goal with a single directional arrow and the sub criteria are connected to the main criterion. The arrows represent the dependence to the goal or main criteria.

Local weights of the criteria and sub-criteria are calculated. Pairwise comparison matrices are formed by the experts by using the scale given in Table 1 and and local and global weights are given in Table 4.

geometric means of experts' evaluations are used to calculate weights. For example technical criterion (C1) are compared with economic criterion (C2) using the question "Which is considered more important by the users choosing the 3D printer, and how much more important is it with respect to satisfaction with the 3D printer?" All the evaluation matrices are produced in the same manner. Pairwise comparison matrices for main criteria and sub-criteria for the economic criterion are given in Tables 2 and 3 respectively with the calculated local weights. The other comparison matrices are formed

Table 2. Local weights and pairwise comparison matrix of criteria

	C1			C2			C3			C4			Weights		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	1.00	1.00	1.00	2.52	3.56	4.58	2.00	2.47	2.88	6.00	7.00	8.00	0.42	0.50	0.58
C2	0.22	0.28	0.40	1.00	1.00	1.00	0.22	0.28	0.40	4.58	5.59	6.60	0.12	0.15	0.18
C3	0.35	0.41	0.50	2.52	3.56	4.58	1.00	1.00	1.00	4.58	5.59	6.60	0.25	0.30	0.35
C4	0.13	0.14	0.17	0.15	0.18	0.22	0.15	0.18	0.22	1.00	1.00	1.00	0.04	0.05	0.05

Table 3. Pairwise comparison matrices based on economic criterion

	C21			C22			C23			Weights		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C21	1.00	1.00	1.00	3.63	4.72	5.77	6.60	7.61	8.62	0.64	0.73	0.81
C22	0.17	0.21	0.28	1.00	1.00	1.00	2.52	3.56	4.58	0.17	0.20	0.24
C23	0.12	0.13	0.15	0.22	0.28	0.40	1.00	1.00	1.00	0.06	0.07	0.09

Table 4. Computed global weights for sub-criteria

Factors	Weights			Factors	Weights			Global Weights			Crisp Weights
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>		<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
C1	0.42	0.50	0.58	C11	0.021	0.026	0.035	0.009	0.013	0.020	0.014
				C12	0.072	0.088	0.105	0.030	0.044	0.061	0.046
				C13	0.255	0.302	0.345	0.107	0.152	0.199	0.155
				C14	0.296	0.338	0.378	0.125	0.170	0.218	0.173
				C15	0.069	0.086	0.106	0.029	0.043	0.061	0.045
				C16	0.059	0.070	0.083	0.025	0.035	0.048	0.036
				C17	0.047	0.057	0.070	0.020	0.029	0.040	0.030
				C18	0.027	0.033	0.040	0.012	0.016	0.023	0.017
C2	0.12	0.15	0.18	C21	0.635	0.726	0.810	0.078	0.107	0.147	0.111
				C22	0.167	0.200	0.238	0.021	0.029	0.043	0.031
				C23	0.065	0.073	0.086	0.008	0.011	0.016	0.011
C3	0.25	0.30	0.35	C31	0.486	0.533	0.574	0.124	0.162	0.204	0.165
				C32	0.369	0.402	0.441	0.000	0.122	0.156	0.102
				C33	0.059	0.064	0.071	0.000	0.020	0.025	0.016
C4	0.04	0.05	0.05	C41	0.47	0.53	0.57	0.020	0.025	0.031	0.025
				C42	0.07	0.08	0.09	0.003	0.004	0.005	0.004
				C43	0.36	0.40	0.44	0.015	0.019	0.024	0.019

According to the results, C14 (Filament Diameter), C31 (Capability of High Volume Production) and C13 (Multi Extruders) are determined as the three most important sub-criteria, respectively considering 3D printer satisfaction.

4.3. Phase of PROMETHEE to rank the alternatives

In this phase, firstly alternative 3D printers are evaluated based on the sub-criteria and the evaluation matrix is

formed as shown in Figure 4. Before using the PROMETHEE method to rank the alternative 3D printers, for each criterion, a specific preference function (PF) with its thresholds is defined. Preference functions and threshold values have been defined by the experts. The preference functions and threshold values defined by the experts in this paper are special for this application, every researcher reading this paper must define his own values in his 3D printer selection process.

Scenario	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences															
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	min	min	min	min	max	min	min	min
Weight	0,01	0,05	0,15	0,17	0,04	0,04	0,03	0,02	0,11	0,03	0,01	0,17	0,10	0,02	0
Preference Fn.	V-shape	Usual	V-shape	Gaussian	Usual	Usual	V-shape	Gaussian	Linear	Usual	Gaussian	V-shape	Gaussian	Gaussian	Gauss
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absol
-Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	870,000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
-P: Preference	4,000	n/a	3,000	n/a	n/a	n/a	4,000	n/a	2700,000	n/a	n/a	3,000	n/a	n/a	n/a
-S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	1,750	n/a	n/a	n/a	9,000	n/a	n/a	160,000	n/a	60,000	3,000	3,0
Statistics															
Minimum	4,000	1,000	1,000	1,750	0,000	0,000	2,000	5,000	870,000	0,000	120,000	2,000	20,000	1,000	1,0
Maximum	4,000	1,000	2,000	2,850	1,000	1,000	4,000	13,500	2700,000	1,000	190,000	4,000	150,000	4,000	4,0
Average	4,000	1,000	1,200	2,170	0,200	0,800	3,000	9,900	1694,000	0,400	159,000	3,600	63,000	3,400	2,4
Standard Dev.	0,000	0,000	0,400	0,515	0,400	0,400	0,894	3,105	752,160	0,490	32,000	0,800	53,066	1,200	1,0
Evaluations															
Ultimaker 2	4,000	1,000	2,000	2,750	1,000	1,000	2,000	9,000	2700,000	1,000	120,000	4,000	20,000	4,000	4,0
Zortrax M200	4,000	1,000	1,000	1,750	0,000	1,000	4,000	13,000	2500,000	1,000	190,000	4,000	25,000	4,000	4,0
Ultimaker Original+	4,000	1,000	1,000	2,850	0,000	1,000	2,000	9,000	1200,000	0,000	120,000	4,000	20,000	4,000	1,0
FlashForge Creator	4,000	1,000	1,000	1,750	0,000	1,000	3,000	13,500	870,000	0,000	185,000	4,000	100,000	4,000	2,0

Figure 4. Evaluation values for alternatives

Since different preference functions, number of criteria and alternatives make calculations difficult in PROMETHEE method; an open access software program namely Decision Lab is used. The positive flow (Phi+), negative flow (Phi-) and net flow (Phi) values obtained from this evaluation are given in Figure 4. The alternatives are ranked in the order of Ultimaker 2, Ultimaker Original+, FlashForge Creator, Zortrax M200 and Up+2 according to Phi values as shown in Figure 5.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Ultimaker 2	0,1124	0,1924	0,0801
2	Ultimaker Original+	0,0944	0,1367	0,0423
3	FlashForge Creator	0,0006	0,0943	0,0937
4	Zortrax M200	-0,0124	0,0857	0,0980
5	Up+2	-0,1950	0,0663	0,2613

Figure 5. Ranking for 3D printers

The decision problem can be represented in the GAIA (Geometrical Analysis for Interactive Aid) plane where alternative 3D printers are represented by points and criteria by vectors. In this way, conflicting criteria may appear clearly. Criteria vectors expressing similar

Vector p_i (decision axis) represents the direction of the compromise derived from the assignment; the decision maker is invited to appreciate the alternative 3D printers located in that direction [28]. It can be seen from figure that p_i vector is in the direction of criterion C16- criterion C31 and the closest alternatives to the p_i vector are Ultimaker Original+, Zortrax M200 and Ultimaker 2. This result is consistent with the ranking of PROMETHEE method.

preferences on the data are oriented in the same direction, while conflicting criteria are pointing in opposite directions. The length of each vector is a measure of its power in alternative 3D printer differentiation. This plane is the result of principal component analysis (PCA), projecting the 17-dimensional space of criteria onto a two-dimensional plane, i.e. the 17 original variables are transformed to the two new variables that are obtained by two linear combinations of the original variables. In the PCA process, criteria are handled by the linear combinations to prevent double counting [22]. As it is shown in the Figure 6, the Delta-parameter is 83.5%; this means only 16.5% of the total information gets lost by the projection.

It can be observed that C16 and C22 have a high differentiation power and expresses independent preferences, different from those expressed by most of all other criteria. A cluster of conflicting criteria (C31 and C43 expressing opposite preferences) are clearly represented. It is also possible to appreciate clearly the quality of the alternative 3D printers with respect to the different criteria. FlashForge Creator is particularly good on C22 and C41. Ultimaker 2 is good on C13 and C15.

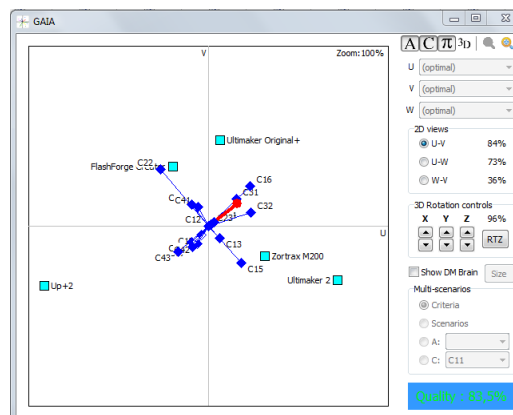


Figure 6. GAIA Plane for 3D printers' selection

4.3.1. Managerial Insights

In this section, we present the results of two different scenario analyses to provide insights for the managers of the company. The former presents sensitivity analysis to reveal the effect of changing the priority of highest weighted criteria; in the latter, different combinations of FAHP and PROMETHEE techniques are compared on 3D printer selection.

Sensitivity analysis on criteria weights: In this sub-analysis, the weight of the most significant criteria, C14, is increased and decreased by 10%, 20%, 30%, and 40% of the original value, giving eight new weight values for C14. New weights of criteria after changing the weight of

criteria C14 are shown in Figure 7. As it seen from Figure 7, while some of the weights of criteria are changed, some of them are not affected. For instance, weights of C17, C18, C22, C23, C42 and C43 are remained unchanged. Conversely, increasing the weight of C14 decreases the weights of C11, C12, C13, C15, C16, C21, C31, C32, C33 and C41. It is noted that sensitivity analysis on highest weighted criteria does not make any sense on ranking. Ranking shown in Figure 5 is valid for all criteria weight combinations. This result shows that obtained ranking of 3D printers is robust.

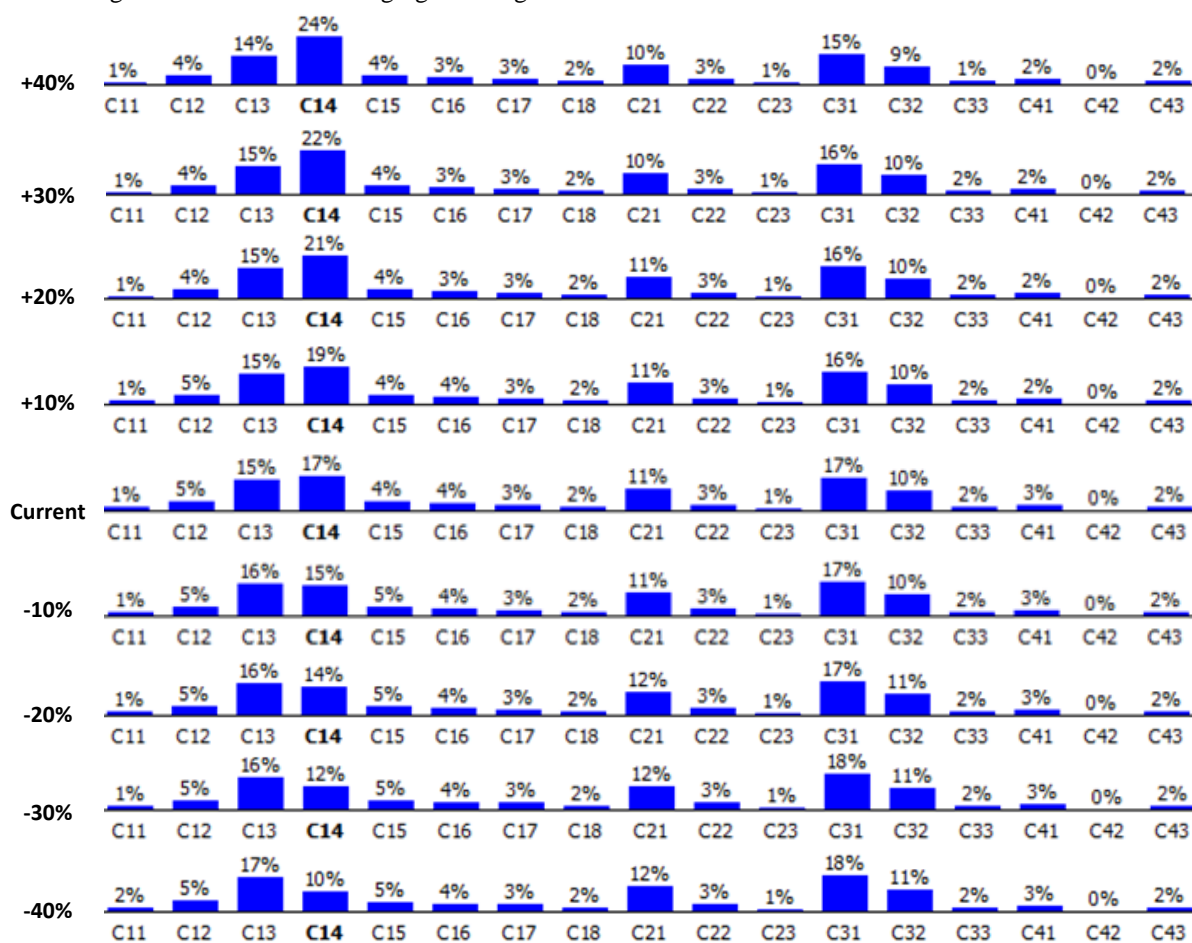


Figure 7. Sensitivities on weight of C14

Sensitivity analysis on different applications: In addition to current FAHP and PROMETHEE approach, following approaches are also applied in this sub-analysis.

- FAHP
- FAHP (equal weights)

- PROMETHEE (equal weights)
 - FAHP and PROMETHEE (functions as usual)
- Results obtained by aforementioned approaches are given in Table 5.

Table 5. Alternatives' ranking based on scenarios

Applied Approaches / Alternatives	Ultimaker2	Zortrax M200	Ultimaker Original+	Flashforge Creator	Up+2
FAHP (Equal Weights)	1	2	4	3	5
FAHP (Weighted)	1	2	3	4	5
PROMETHEE (Equal Weights)	2	5	1	3	4
FAHP-PROMETHEE (Functions as Usual)	2	4	1	3	5
FAHP-PROMETHEE (Current approach)	1	4	2	3	5

As it is seen from Table 5, rankings obtained by applied approaches are different from each other. However, some of the printers fall into the same place. For instance, Flashforge Creator and Up+2 printers are located in third and fifth ranks, respectively. On the contrary, Ultimaker2 and Ultimaker Original+ printers take place near the top. These average rankings support the result of current approach. Managers of the company already confirmed the rank obtained by current approach.

5. CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH

3D printers are changing the commerce working system. The companies do not need to build expensive manufacturing facilities, they do not need to hire numerous workers or purchase large storage spaces for inventory in order to produce a product. 3D printers can handle the same process only by uploading a file. Also it causes cost savings and lesser production times, it brings creativity freedom and it is more environmental friendly.

Choosing a 3D printer can be imagined as choosing any device for one's needs. It depends largely on the budget. Paying higher prices may ensure high quality prints and it brings more features thus affecting the printer's output quality. So choosing a 3D printer can be challenging. Before choosing a 3D printer, the users should think carefully on the purpose of their usage and need to determine all the important specifications they need.

Thus in this paper, the real 3D printer selection problem of a 3D production company in Gaziantep/Turkey is taken into account. To analyze their needs and to solve the problem, the selection criteria are obtained from the company firstly. Then, selection criteria are prioritized using FAHP and potential 3D printers are ranked using PROMETHEE. According to the results, Filament Diameter, Capability of High Volume Production and Multi Extruders are determined as the three most important sub-criteria.

Different perspectives are generated in scenario analysis to provide managerial insight. For future research; a different selection problem for 3D printers can be handled such as filament type selection or different selection methods can be used for 3D printer selection.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank to the industrial engineers working for ADMACO Company for their valuable contributions.

REFERENCES

- [1] Conner, B.P., Manogharan, G.P., Martof, A.N., Rodomsky, L.M., Rodomsky, C.M., Jordan, D.C., Limperos, J.W., 2014, Making sense of 3D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services, *Additive Manufacturing*, 1-4: 64-76.
- [2] Cetinkaya, C., Ozceylan, E., 2015, Impacts of 3D Printing on Supply Chain Management, **In proceedings of 13th International Logistics and Supply Chain Conference**, pp. 649-657.
- [3] Berman, B., 2012, 3D printing: The new industrial revolution, *Business Horizons*, 55: 155-162.
- [4] Akça, B.A., Doğan, A., Özcan, U., 2015, Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Kişi Takip Cihazı Seçimi, *International Journal of Informatics Technologies*, 8 (1): 20-35.
- [5] Rao, R.V., Patel, B.K., 2010, Decision making in the manufacturing environment using an improved PROMETHEE method, *International Journal of Production Research*, 48 (16): 4665-4682.
- [6] Alp, Ö.N., Demirtaş, N., Baraçlı, H., Tuzkaya, U.R., 2011, Fuzzy AHP-PROMETHEE methodology to select bus garage location: A case study for a firm in the urban passenger transport sector in İstanbul, *15th International Research/Expert Conference on Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, pp. 273-276.
- [7] Brajlilih, T., Valentan, B., Balic, J., Drstvensek, I., 2011, Speed and accuracy evaluation of additive manufacturing machines, *Rapid Prototyping Journal*, 17 (1): 64-75.
- [8] Taha, Z., Rostam, S., 2012, A hybrid fuzzy AHP-PROMETHEE decision support system for machine tool selection in flexible manufacturing cell, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23: 2137-2149.
- [9] Avikal, S., Mishra, P.K., Jain, R., 2014, A Fuzzy AHP and PROMETHEE method-based heuristic for disassembly line balancing problems, *International Journal of Production Research*, 52 (5): 1306-1317.
- [10] Kabir, G., Sumi, R.Z., 2014, Power substation location selection using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE: A case study from Bangladesh, *Energy*, 72: 717-730.
- [11] Byun, H.S., Lee, K.H., 2005, A decision support system for the selection of a rapid prototyping process using the modified TOPSIS method, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26: 1338-1347.
- [12] Roberson, D.A., Espalin, D., Wicker, R.B., 2013, 3D printer selection: A decision-making evaluation and ranking model, *Virtual and Physical Prototyping*, 8 (3): 201-212.
- [13] Agarwal, P.K., Paul, D., Choudhury, S.R., Banerjee, D., 2015, Selection of 3D printers for educational institutions using ANP-Similarity based approach, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4 (4): 278-287.
- [14] Kek, V., Vinodh, S., Brajesh, P., Muralidharan, R., 2016, Rapid prototyping process selection using multi criteria decision making considering environmental criteria and its decision support system, *Rapid Prototyping Journal*, 22 (2): 225-250.
- [15] Facchinetti, G., Ricci, R.G., 2004, A characterization of a general class of ranking functions on triangular fuzzy numbers, *Fuzzy Sets and Systems* 146 (2): 297-312.
- [16] Saaty, T.L., 1977, A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, 15 (3): 234-281.
- [17] Saaty, T.L., 1980, *The analytic hierarchy process*, New York, McGraw-Hill International.
- [18] Saaty, T.L., 1996, *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*, Pittsburgh, RWS Publications.
- [19] Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., 2012, Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, *Iran, Natural Hazards*, 63 (2): 965-996.
- [20] Qdais, H.A., Alshraideh, H., 2016, Selection of management option for solid waste from olive oil industry using the analytical hierarchy process, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18 (1): 177-185.
- [21] Brans, J.P., Vincke, P.H., 1985, A preference ranking organization method, *Management Science* 31 (6): 647-656.
- [22] Brans, J.P., Vincke, P.H., Mareschall, B., 1986, How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *European Journal of Operational Research*, 24 (2): 228-238.

- [23] Albadvi, A., Chaharsooghi, S.K., Esfahanipour, A., 2007, Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE, *European Journal of Operational Research*, 177 (2): 673–683.
- [24] Nijkamp, P., Rietveld, P., Voogd, H., 1990, *Multi-criteria evaluation in physical planning*, Amsterdam, Elsevier Science Publishers.
- [25] Mergias, I., Moustakas, K., Papadopoulos, A., Loizidou, M., 2007, Multi-criteria decision aid approach for the selection of the best compromise management scheme for ELVs: The case of Cyprus, *Journal of Hazardous Materials*, 147 (3): 706–717.
- [26] Kabak, M., Dağdeviren, M., 2014, A hybrid MCDM approach to assess the sustainability of students' preferences for university selection, *Technological and Economic Development of Economy*, 20 (3): 391–418.
- [27] Kadziński, M., Ciomek, K., 2016, Integrated framework for preference modeling and robustness analysis for outranking-based multiple criteria sorting with ELECTRE and PROMETHEE, *Information Sciences*, 352-353: 167–187.
- [28] 3D printers and 3D printing news, 2017, List of 3D manufacturers, <http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/> Access date: 28.01.2017.
- [29] Wang J.J., Yang, D.L., 2007, Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing, *Computers and Operation Research*, 34 (12): 3691–3700.

Kurumsal Kolektif Süreçler için E-Posta İletilerinden Görev Keşfi ve Gerçek Zamanlı Görev Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi

Halil ARSLAN^{1*}, Oğuz KAYNAR², Ahmet Gürkan YÜKSEK¹

¹Bilgisayar Mühendisliği, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye

²Yönetim Bilişim Sistemleri, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye

harслан@cumhuriyet.edu.tr, okaynar@cumhuriyet.edu.tr, agyuksekc@cumhuriyet.edu.tr

(Geliş/Received:27.01.2017; Kabul/Accepted:03.09.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.281713

Özet— E-posta sistemleri, kurumsal iletişim ve işbirliği için kullanılan en yaygın araçlardan birisidir. Başta planlama, kaynak veya proje yönetimi olmak üzere neredeyse tüm kurumsal işlemler e-posta üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle e-posta sistemleri, şirketler için değerli bilgiler içeren hizmet depoları ve işlerin yönetildiği vazgeçilmez araçlardan biri haline gelmiştir. Özellikle müşteri odaklı kuruluşlar için e-posta servisleri üzerinden iş akışlarının yönetilebilir olması son derece önemlidir. Kurumsal sistemler ile müşteri düzeyindeki iş listelerinin her ne kadar kullanılan yazılımlar üzerinden iletme imkanı olsa da bu talepler çoğunlukla e-postalar ile iletilmektedir. Ancak bu durum çalışanın e-posta kutusundaki işleri planlamaması, unutmaması, kaybolması, önem düzeyini doğru belirleyememesi gibi sonuçlara yol açabilmektedir. Yapılan bu çalışma ile personelin kurumsal e-posta hesaplarına gelen mesajlar incelenerek, metin madenciliği ve sınıflama teknikleri yardımıyla iş taleplerini etiketleyen ve etiketlenen bu mesajları geliştirilen yapılacaklar listesi (todo list) uygulamasına girdi olarak gönderen bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntem ve geliştirilen uygulamanın, genişletilebilir mesajlaşma ve durum protokolü üzerine entegre edilmesiyle gerçek zamanlı işbirlikçi çalışma olanağı sunulmaktadır. Böylece kurumsal e-postaların iş listelerine dönüştürülme süreci, kurumsal anında mesajlaşma sistemleri üzerinden gerçek zamanlı durum yönetim yaklaşımı ile işbirlikçi çalışmaya uygun hale getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler— İşbirlikçi süreçler, todo list yönetimi, e-posta analizi, metin madenciliği

Task Exploration from E-mail Messages for Corporate Collaborative Processes and Development of a Real-Time Task Management System

Abstract— Email systems are one of the most common tools used for corporate communication and collaboration. Almost all the corporate tasks, especially planning, resource or project management are carried out via e-mail systems. For this reason, email systems have become service stores containing valuable information for companies, and very important tools where the tasks are managed. It is particularly important for customer-focused organizations to manage workflows via e-mail services. Although it is possible to create work lists on customer level via enterprise systems over central software, these requests are mostly transferred by employees' e-mail accounts. This case may cause such results as the employee's not planning the tasks in his email address, forgetting, losing, not defining its level of importance. In this study, a method is proposed that labels the requests to be managed coming from the corporate e-mail account by using text mining and classification techniques and provides input for the to-do list application developed by examining the messages in corporate e-mail accounts of employees. The proposed method and the developed application offer real-time collaborative working environment with the extensible messaging and its integration with the status protocol. Thus, the conversion process of corporate e-mails to work lists has been adapted to collaborative work though the real-time status management approaches over the corporate instant messaging systems.

Keywords— Collaborative processes, ToDo list management, e-mail analysis, text mining

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

E-posta sistemleri, bilgisayar tabanlı iletişim açısından geliştirilmiş en önemli ve popüler yazılım sistemleri olarak gösterilebilir [1-6]. Günümüzde gerek kişisel, gerekse de iş yaşamında e-posta yoluyla işlerimizi organize etmekteyiz. Ancak profesyonel iş ortamında çoğu e-posta mesajları, ortak görevler ve işbirlikçi çalışmalar gerektiren durumlar ortaya çıkarmaktadır [2]. Şirketlerde iş akışlarının e-posta iletileri üzerinden yapıyor oluşu, e-posta sistemlerinin kişinin gelen kutusundan ibaret olmaması gerektiğini göstermektedir[4]. Bu noktada, iş süreçlerinin yönetimi ve kontrol edilmesi ile bu süreçlerin iyileştirilmesi ancak etkili bir e-posta yönetim sistemi ile sağlanabilecektir. Ancak pek çok şirket, mevcut iş süreçlerine, e-posta sistemlerini nesnel anlamda konumlandıramamaktadır. Özellikle planlama, kaynak yönetimi veya proje yönetimi gibi temel iş akışları ile ilgili neredeyse tüm kurumsal görevler için bilgi akışının e-posta iletileri üzerinden gerçekleşmesi, e-postaların değerli bilgiler içeren veri depoları olarak işlenmesini gerektirmektedir[2,5].

E-posta sistemleri ve iletiler, kuruluşlar için işlerin alındığı ve yönetildiği çok önemli bir merkezi alan haline gelmiştir [3]. Çalışanlara, iş süreçleri kapsamında, özellikle müşteri düzeyinde bir e-posta iletili geldiğinde, kullanıcı, bu iletinin gereksinimini ve takibini, gelen kutusunun özerkliği içerisinde gerçekleştirmektedir. Bu durum, çalışanın e-postasının gelen kutusunda bekleyen işleri doğru planlayamaması, unutulması, kaybolması, önem düzeyini doğru belirleyememesi ve işbirliği gerektiren etkileşimli bir iş süreci gereksiniminin sağlanamaması gibi durumları ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, çalışanların e-posta istemcisi, planlama, todo list yönetimi vb. iş süreçlerinin yürütülmesi için ihtiyaç duyduğu yazılımlar, çoğunlukla bağımsız altyapılar üzerinde çalışmaktadır. Bu yazılımların birbirleri ile haberleşememeleri, gelen kutusundaki bir iletinin planlama ve todo list yönetimi gibi işbirlikçi altyapılar sunan yazılımlara manuel olarak taşınması gibi ekstra iş yüklerini doğurmaktadır. Bunlara ek olarak e-posta sistemi üzerindeki bir iş, doğru sonuçlandırılrsa dahi geri dönüşü, kişinin inisiyatifine kalmaktadır. Ayrıca e-posta iletileri sonucu, todo list ve planlama gibi sistemlere aktarılmadan sonuçlandırılan iş, unutulmuş hizmet faturalamaları ve tahsilat sorunları gibi maliyet sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Tüm bu durumlar müşteri düzeyinde ya da personeller arası yoğun e-posta trafiğinin yaşandığı şirketler açısından iş süreçlerine ve kurumsallığa uygun olmayan süreç dışı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır [7].

Şirketler, çalışanlarının iş listelerini, todo list olarak isimlendirilen yazılımlar üzerinden takip etmektedirler. Bu yazılımlar, çoğunlukla merkezi/bulut veritabanları üzerinden kişilerin iş listelerini görüntüleyebildikleri ve yönetebildikleri çeşitli fonksiyonlar ve arayüzler sunmaktadır. Todo list yazılımları, çalışanlar için günlük yerine getirmeleri ve kontrol etmeleri gereken rutin bir iş

faaliyetleri olmak zorundadırlar. Aksi takdirde bu yazılımlar sadece proje yöneticilerinin raporlama amacıyla kullandıkları genel taslaktan öteye geçememektedirler. Bu çalışma ile todo list uygulaması, XMPP [8] protokolü üzerinden kurum içi anında mesajlaşma ve iş yönetim uygulaması olarak işbirlikçi çalışmaya uygun bir yapı teşkil edecek şekilde sunulmaktadır. Todo list gibi iş süreçleri için işbirliği gerektiren uygulamalar, erişilebilirlik ve kullanılabilirlik noktasında, kullanıcıya rutin faaliyet izlenimi vermeyen, memnuniyet düzeyi yüksek deneyimler sunmalıdır. Önerilen sistem, metin madenciliği teknikleri yardımıyla, gelen e-postaları analiz ederek, bunlardan iş ile ilgili olan e-postaları, yapılacaklar listesine dönüştürerek, todo list yazılımları ile entegrasyon sağlamak ve yukarıda bahsedilen sorunların üstesinden gelmektedir.

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir. Birinci bölümünde, literatürde daha önce benzer alanlarda yapılmış çalışmalar değerlendirilmekte, ikinci bölümde, çalışmada kullanılan metodoloji ve yöntemler sunulmakta, üçüncü bölümde, kurumsal e-posta sistemleri üzerinden elde edilen veri setleri, metin madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak sınıflandırılmakta ve geliştirilen işbirlikçi uygulama modeli sunulmakta, son bölümde elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED WORK)

Çalışmanın temel araştırma alanları olarak, (1) E-Posta iletilerinin, metin madenciliği teknikleri ile sınıflandırılabilmesi için gerçek ortamda eğitim ve test veri setlerinin hazırlanması, (2) E-Posta iletilerinin metin madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak sınıflandırılması ve iş süreçlerine dönüştürülmesi, (3) Todo list uygulaması için gerçek zamanlı ve işbirlikçi çalışmaya uygun uygulama yazılımının geliştirilmesi, şeklinde sıralanabilir. Bu bağlamda yapılan literatür taramasında, e-posta iletilerinin makine öğrenmesi teknikleri ile analiz edildiği çalışmalara rastlanılmaktadır [6]. Ancak çalışmaların pek çoğu spam iletilerinin tespiti ve e-posta doğruluğu üzerine odaklanmaktadır [9]. Son zamanlarda özellikle e-posta iletilerinin kurumsal uygulamalar için girdi teşkil edebilecek şekilde kullanıldığı çalışmalar ve değerlendirmeler giderek artmaktadır [10]. Stuit vd.[2] çalışmalarında iş süreçleri için e-posta iletilerinin analizi ve bilgi keşfine yönelik çalışmalar yapmışlar ve e-posta etkileşimli veri madenciliği yöntemleri önermişlerdir. Önerilen yöntemle analiz ettikleri e-posta odaklı iş süreçlerini TALL adı verilen bir modelleme dili ile görselleştirmişlerdir. Soares vd.[11] bilgi yönetimi odaklı iş süreçleri için e-postalar üzerine odaklanarak, bilginin yarı otomatik keşfi için yöntem tarif etmektedirler. Bu yöntemde, e-posta iletileri ile işbirlikçi süreçler üzerinden mevcut bilginin alışverişini tanımlarken, iletilerin ilişkilerini tanımlayan kavramsal bir harita ortaya koymuşlardır. Çalışma sonucu ortaya konan bulguların bir organizasyon yapısının oluşturulması ve değerlendirilmesi için kullanılabilirliğini

ifade etmişlerdir. Dey vd.[4] metin madenciliği, ağ analizi ve veri analitiği teknikleri kullanarak yaptıkları etkinlik yönetimi ve bilgi keşfi için e-posta analizi çalışmalarında, içeriğe odaklı akıllı gruplama, e-posta kümelerinde zamansal analiz ve metin analizleri yapmışlardır. Méndez vd.[12] açık kaynak kodlu anti-spam projesi olan SpamAssassin için e-posta iletilerinin sınıflandırılmasında performansı artırmaya yönelik bir optimizasyon aracı geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada bilinen dört farklı veri madenciliği tekniği (Naïve Bayes, Flexible Bayes, Adaboost ve Support Vector Machines) ile kıyaslamışlar ve önerdikleri aracın bu teknikleri maliyet ve performans olarak geride bıraktığını ifade etmişlerdir. Koprinska vd.[13] e-posta iletilerinin sınıflandırılmasında kullanılan denetimli ve yarı-denetimli öğrenme tekniklerini ele almışlardır. Rastgele Orman, Karar Ağaçları, Destek Vektör Mekanizmaları ve Naïve Bayes gibi popüler algoritmaları kullandıkları çalışmalarında e-posta sınıflandırması için Rastgele Orman algoritmasının daha verimli olduğunu ifade etmişlerdir. Pankaj vd.[14] çalışmalarında iş uygulamalarının teorik temellerini ortaya koymuşlar, uygun iş modelleri önermişler ve bu uygulamaların eşler arası iletişim bağlamında uygun altyapılar sunabileceğini vurgulamışlardır. Ragavan vd.[15] XMPP protokolü kullanarak çeşitli endüstriyel uygulamaları kontrol eden gerçek zamanlı veri toplama yeteneğine sahip bir uygulama geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarında XMPP protokolünün gerçek zamanlı iş uygulamaları için önemli bir altyapı sunabileceğini göstermişlerdir.

E-posta iletilerinin sınıflandırılması üzerine yapılan çalışmaların, gerek akademik gerekse de ticarileşme potansiyeli açısından önemli bir araştırma alanı olmayı sürdüreceği görülmektedir. Ancak burada ifade edilmeyen fakat literatürde sıkça karşılaşılan çalışmaların pek çoğu, anti-spam üzerine odaklansa da bu noktada kullanılan teknikler e-posta iletileri üzerinden başkaca sınıflama ve analiz gerektiren problemlere yeni ufuklar açmaktadır [16]. Ancak literatür kapsamında bakılan çalışmalarda bu tür analiz teknikleri sonucunda ortaya konulan ve iş uygulamaları için işbirlikçi bir uygulama çalışmasına rastlanmamıştır.

3. METODOLOJİ VE YÖNTEM (METHODOLOGY AND METHOD)

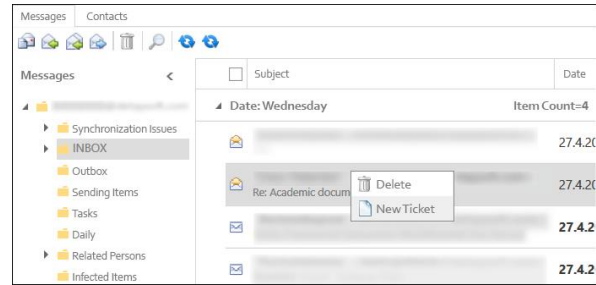
Kullanıcıların gelen kutusundaki iletilerden görev keşfi süreci iki aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşamada gelen kutusundaki iletilerin manuel olarak iş listesine dönüştürülebilmesi sağlanmaktadır. Bu aşamada, kullanıcıların tanımladıkları iş listeleri ikinci aşamada kullanılacak metin madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri için veri seti olarak kullanılmaktadır.

3.1. Veri Setlerinin Oluşturulması (Collect Data Sets)

Veri setlerinin oluşturulabilmesi için ileti alma, gönderme, yanıtlama gibi temel e-posta fonksiyonlarını

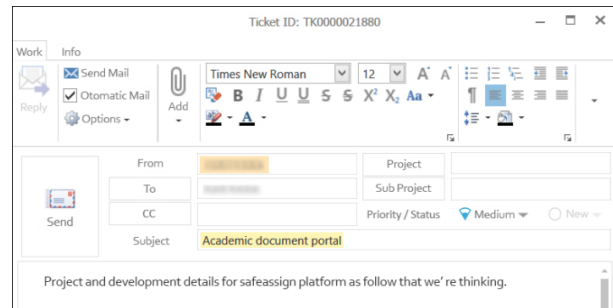
karşılaman ve gelen kutusundaki bir iletiyi iş listesine aktarabilen bir e-posta istemcisi geliştirilmiştir (Şekil 1).

Geliştirilen yazılım ile kullanıcı, kurumsal e-posta hareketlerini gerçekleştirebilirken, istediği e-posta iletisini iş listesine dönüştürebilmektedir. Ayrıca kurumsal kullanıcılarda yaygın olarak kullanılan Microsoft Outlook yazılımı için geliştirilen bir eklenti ile kullanıcının e-posta iletilerini iş listelerine aktarımı sağlanmıştır. Hazırlanan bu eklenti, bir web servis aracılığı ile istenilen işlevi yerine getirmektedir. Böylelikle geliştirilen e-posta istemcisi haricinde Outlook gelen kutusunda yer alan işle ilgili e-postaların da veri setine aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, e-posta iletilerinin sınıflandırılmasında kullanılan metin madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri için gerçek veri setleri toplanmıştır.



Şekil 1. E-Posta istemci ekranı ve iş listesine aktarımı (E-Mail client screen and transfer of messages to the ToDo list)

Şekil 1'de sunulan ekran üzerinden kullanıcı gelen kutusundaki iletiyi, todo list uygulamasına gönderebilmektedir. Bu fonksiyon, kullanıcının istediği bir iletiyi hızlıca iş listesine dönüştürmesine olanak sağlayarak uygulamalar arası işbirliğini kolaylaştırmaktadır. Şekil 2'de ise e-posta istemcisi üzerinden todo list uygulamasına aktarılan bir iletinin yeni iş tanımlama ekranı görülmektedir.



Şekil 2. İş tanımlama ekranı (Task definition screen)

3.2. Ön İşlem (Pre-processing)

E-posta istemcisi üzerinden tanımlanan işlerle, iş dönüştürülen iletiler ilişkilendirilmiş ve "ToDo" sınıfına ait ileti olarak ayrılmıştır. Bu yöntemle elde edilen 175 e-posta iletisi "ToDo" sınıfında, diğer 200 ileti ise "Normal" sınıfında yer almaktadır. Veri setlerinin eğitim

ve sınıflandırma süreçlerine hazırlanması amacıyla çeşitli veri ön işleme adımlarından geçirilmesi gerekmektedir. Ön işlem aşamaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- HTML ve XML etiketlerin temizlenmesi,
- İletideki konu ve içerik kısmını oluşturan bölümlerin düz metin haline dönüştürülmesi,
- İletideki simge ve noktalama işaretlerinin temizlenmesi ve karakterlerin küçük harfe çevrimi,
- Her bir kelimenin köklerinin bulunması ve terim listelerinin oluşturulması,
- Metin içerisindeki edat, bağlaç ve zamirlerden oluşan durak kelimelerin kaldırılması
- Uzunluğu 3 harften kısa olan kelimelerin temizlenmesi,
- Terim frekansları ve ters doküman frekansları yardımıyla vektör uzay modelinin oluşturulması.

3.3. Sınıflandırma Yöntemleri (Classification Methods)

Çalışmada, e-posta iletilerinin sınıflandırılabilmesi için Merkez Tabanlı Sınıflayıcı, Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri kullanılmıştır.

a. Merkez tabanlı sınıflayıcı (Centroid-based classifier)

Merkez tabanlı sınıflayıcı, vektör uzay modeli tabanlı olup, oldukça basit ve performansı yüksek bir algoritmadır [17]. Algoritmada her bir doküman terim uzayında bir vektör olarak ele alınır. Vektörün her bir boyutu, dokümanda geçen bir terimin ters doküman frekansıyla ağırlıklandırılmış frekansını tutar. N toplam doküman sayısını gösterirken, d_{fi} , i teriminin geçtiği doküman sayısını göstermektedir. Böylelikle dokümanlarda sık geçen kelimeler için daha küçük bir ağırlık değeri elde edilirken daha seyrek geçen kelimeler için daha büyük bir ağırlık değeri elde edilir. Terim frekansı ve ters doküman frekansı çarpılarak ağırlıklandırılmış TF-IDF değeri elde edilir (Eşitlik 1).

$$d_{tf_idf} = \left(tf_1 \log \left(\frac{N}{d_{f1}} \right), tf_2 \log \left(\frac{N}{d_{f2}} \right), \dots, tf_n \log \left(\frac{N}{d_{fn}} \right) \right) \quad (1)$$

Vektör uzay modelinde d_i ve d_j dokümanlarının benzerliği, Eşitlik 2'deki kosinüs fonksiyonu yardımıyla ölçülür.

$$\cos(d_i, d_j) = \frac{d_i \cdot d_j}{\|d_i\| \cdot \|d_j\|} \quad (2)$$

“.” vektörlerin skaler çarpımını gösterir. Merkez tabanlı sınıflandırmada, sınıflar merkez adı verilen vektörlerle sunulur. Merkez, sınıf elemanlarını temsil eden ortalama bir değerdir ve bu orta değer bütün sınıfı temsil ettiği kabul edilir. Eğitim seti k farklı sınıf içeriyorsa bu eğitim verilerinden k adet merkez vektörü elde edilir.

$$C_k = \frac{1}{|S|} \sum_{d \in S} d \quad (3)$$

Eşitlik 3'te, S değeri, ilgili sınıftaki dokümanların kümesini göstermektedir. İlgili sınıftaki ortalama vektör o sınıftaki vektörlerin skaler toplamının, sınıftaki doküman sayısına bölümüyle elde edilir. Merkez tabanlı sınıflayıcının çalışma mantığının arkasında, vektörlerin benzerlik ilkesi yatar. Bir dokümanın hangi sınıfta olduğuna karar vermek için, ilgili dokümana ait vektörün merkez vektörlerin her biriyle kosinüs benzerliğine bakılır. Test vektörü daha çok hangi merkez vektöre benziyorsa ilgili vektörün o sınıfta olduğuna karar verilir.

b. Çok katmanlı yapay sinir ağları (Multilayer artificial neural networks - MLP)

İnsan sinir sistemi örnek alınarak tasarlanan yapay sinir ağları (YSA), genelleme yapabilme, veriden öğrenebilme, sınırsız sayıda değişkenle işlem yapabilme gibi farklı özelliklere sahip denetimli bir makine öğrenmesi yöntemidir [18]. En küçük YSA birimine nöron adı verilmektedir. Nöronlar birleşerek katmanları, katmanlar ise bir ağı meydana getirmektedir. Bir YSA girdi katmanı ve çıktı katmanı olmak üzere en az iki katman bulundurmaya zorundadır. Girdi katmanı, çözülmesi istenilen probleme ait verilerin ağ tarafından okunmasını sağlayan katmandır ve öznelik sayısı kadar nöron içermektedir. Çıktı katmanı ise ağ tarafından işlenerek üretilen verinin dışarıya aktarıldığı katmandır. Bu katman tek bir nöron içerebildiği gibi tahmin edilecek probleme ait sınıf sayısı kadar da nöron içerebilmektedir. MLP ise bu iki katman arasında bulunan, bir ya da daha fazla sayıda gizli katman içermektedir. Bu katmanlardaki nöron sayısı tam olarak belli olmamakla birlikte ağı performansı etkileyen önemli parametrelerden biridir. YSA ilgili örnekler yardımı ile bu katmanları eğiterek genelleme yapmayı hedeflemektedir [19]. YSA'da eğitim işlemi ağı sahip olduğu ağırlıkların, seçilen eğitim algoritması yardımı ile güncellenmesi ile yapılmaktadır. MLP ağlarının eğitiminde, kolay anlaşılabilir ve matematiksel olarak ispatlanabilir olmasından dolayı geri yayılım algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma eşitlik 4 kullanılarak hesaplanan hata değerini en aza indirecek şekilde ağırlık değerlerini güncelleyerek ağı eğitmektedir [20].

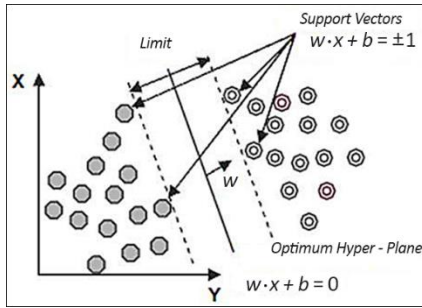
$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y_k - t_k)^2 \quad (4)$$

Eşitlikte y_k ağ tarafından üretilen sonucu, t_k gerçek sınıf değerini, m ise toplam örnek sayısını temsil etmektedir. Hatayı en aza indirmek için bağlantı ağırlıkları yeniden düzenlenerek güncellenir. Böylece sınıf değerlerinin en az hata ile tahmin edilmesi amaçlanır.

c. Destek vektör makineleri (Support vector machine)

Destek vektör makineleri (DVM), istatistiksel öğrenme teorisi ve yapısal riski en aza indirme prensibinden

faýdalanan, sınıflandırma ve eğri uydurma problemlerinin çözümü amacıyla geliştirilmiş bir öğrenme yöntemidir [21]. Lineer olarak ayrıştırılabilen sınıfların belirlenmesinde sıkça kullanılan yöntem, kernel fonksiyonları sayesinde doğrusal olarak ayrıştırılmayan girdi uzayını daha yüksek boyutlu lineer olarak ayrıştırılabilen bu uzaya taşıyarak, doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılmasında başarıyla kullanılmaktadır. Eğitim için kullanılacak N elemandan oluşan verinin $\theta = \{x_i, y_i\}$, $i = 1, 2, N$ olduğu varsayılırsa. x_i özellik vektörünü, $y_i \in \{-1, 1\}$ ise sınıf değerlerini gösterir. Lineer olarak ayrılma durumunda, bu iki değerli veriler direkt olarak bir ayırıcı düzlem ile ayrılabilir. Veri setini sınıflara ayırabilecek sonsuz sayıda çoklu düzlem çizilebilmesine karşın, amaç, bilinmeyen sınıflama hatasını en küçük yapacak hiper düzlemi seçmektir. Şekil 3'te görüleceği üzere $f(\vec{x}) = \vec{w}^T \vec{x} + b \geq 1$ durumu birinci sınıfı, ($y_i = 1$) ve $f(\vec{x}) = \vec{w}^T \vec{x} + b \leq -1$ durumu ise ikinci sınıfı ($y_i = -1$) temsil eder.



Şekil 3. Destek Vektör Makineleri ve Hiper Düzlem Seçimi

(Support vector machine and selection of the hyper-plane)

İki sınır arasındaki uzaklık $\lambda = 2/\vec{w}^2$ formülü ile ifade edilir. Amaç, λ değerini maksimum yapmak olduğu için $1/\lambda$ ifadesi minimum olmalıdır. Buna bağlı sınırlama ise $y_i(w^T x_i + b) - 1 \geq 0$, $y_i \in \{-1, +1\}$ 'dir. İlgili problemin duali, Eşitlik 5'te verilmiştir. Eşitlikteki problem, Lagrange denklemleri, Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'de verilen "Karush-Kuhn-Tucker (KKT)" in kısıtları yardımıyla çözümlür.

$$L(\mathbf{w}, b, \alpha) = \frac{1}{2} \mathbf{w}^T \mathbf{w} - \sum_{i=1}^N \alpha_i [y_i (\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + w_0) - 1],$$

$$\alpha_i \geq 0, \forall i \quad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial w_j} = 0, \forall j \quad (6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial w_0} = 0 \quad (7)$$

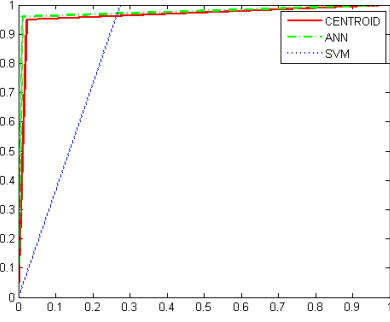
Verilerin doğrusal olarak ayıramadığı durumlarda, girdi uzayı kernel fonksiyonları yardımıyla daha yüksek boyutlu bir uzaya taşınarak doğrusal olarak ayrıştırılabilir hale getirilerek sınıflandırılabilir. En çok kullanılan kernel fonksiyonları arasında Gauss, Polinomial ve Sigmoid fonksiyonları sayılabilir.

4. E-POSTA İLETİLERİNDEN GÖREV KEŞFİ (TASK EXPLORATION FROM E-MAIL MESSAGES)

Çalışmada, 200 adet "Normal" ileti ile uygulama üzerinden "ToDo" olarak işaretlenmiş 175 adet iletiden oluşan toplam 375 adet e-posta içeren veri seti kullanılmıştır. Veri setlerinin eğitim ve sınıflandırma süreçlerine hazırlanması için Bölüm 3.2'de sunulan ön işlem aşamaları uygulanmıştır. Ön işlem aşaması sonrasında, her bir ileti için TF-IDF değerlerinden oluşan vektör uzay modeli elde edilmiştir. Kelimelere ilişkin terimlerin köklerinin elde edilmesinde Nzemberek [22] doğal dil işleme kütüphanesinden faydalanılmıştır. Sınıflayıcıların eğitimi için veri setinin %75'i eğitim kümesi olarak ayrılmıştır. Kalan %25'lik bölüm ise test amacıyla kullanılmıştır. Sınıflayıcı olarak merkez tabanlı, yapay sinir ağları ve destek vektör makinaları kullanılmıştır. Üç sınıflayıcı için de eğitim ve test kümelerinde, aynı veriler kullanılmış ve böylece örneklemeden doğacak performans farklılıklarının önüne geçilmiştir. Yapay sinir ağı modelinde ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı tercih edilmiştir. Oluşturulan modelde gizli katmanda 10 adet nöron, çıkış katmanında ise 2 sınıf olduğundan dolayı 2 nöron kullanılmıştır. Giriş katmanında kullanılan nöron sayısı ise veri setinin özellik vektörü tarafından belirlenmektedir. DVM sınıflayıcı için kernel fonksiyonu olarak Gauss fonksiyonu, genişlik değeri sigma=1 ve cezalandırma katsayısı c=1 olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla her üç sınıflayıcı için doğruluk (accuracy), duyarlılık (precision), hassasiyet (recall or sensitivity) ve f-metrik değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler Tablo 1'de sunulmuştur. Tablodaki eşitliklerde kullanılan TP, TN, FP, FN değerleri sırasıyla;

- TP (True Pozitif): Gerçekte "ToDo" olup, "ToDo" olarak sınıflandırılan e-posta sayısı
- TN (True Negatif): Gerçekte "Normal" olup, "Normal" olarak sınıflandırılan e-posta sayısı
- FP (False Pozitif): Gerçekte "Normal" olup, "ToDo" olarak sınıflandırılan e-posta sayısı
- FN (False Negatif): Gerçekte "ToDo" olup, "Normal" olarak sınıflandırılan e-posta sayısıdır.

Tablo 2'de her üç veri seti ve sınıflandırma yöntemi için TP, TN, FP ve FN değerlerini gösteren karmaşıklık matrisleri verilmiştir. Karmaşıklık matrisi yardımıyla hesaplanan doğruluk (A), duyarlılık (P), hassasiyet (R), f-metrik ve alıcı işletim karakteristiği (Receiver Operating Characteristic - ROC) eğrisi altında kalan alanın (Area Under Curve - AUC) değerini gösteren sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur. Performans ölçütleri ve grafiklerden görüleceği üzere her üç veri setinde de en iyi sınıflama performansı yapay sinir ağlarında elde edilmiştir. Şekil 4'te verilen ROC eğrilerinde bu durum açıkça görülmektedir. ROC eğrilerinde sol üst köşeye en yakın grafik, performansı en yüksek sınıflayıcıya ait grafikdir.



Şekil 4. ROC eğrisi
(ROC curve)

Çalışma sonucunda en iyi performans elde edilen eğitilmiş yapay sinir ağına ait ağırlıklar, kurumsal e-posta sistemleri üzerinde çalışan e-posta istemcisi ve kurumsal anında mesajlaşma ve iş yönetim uygulaması ile entegre edilmiştir. Geliştirilen yazılım, XMPP tabanlı gerçek zamanlı durum ve mesaj yönetim protokolü üzerinden işbirlikçi bir çalışma altyapısı sunmaktadır. Yapılan çalışmaya ait mimari diagram Şekil 5'te sunulmuştur.

Table 1. Sınıflayıcıları karşılaştırmak üzere kullanılan metrikler
(Metrics used to compare the classifiers)

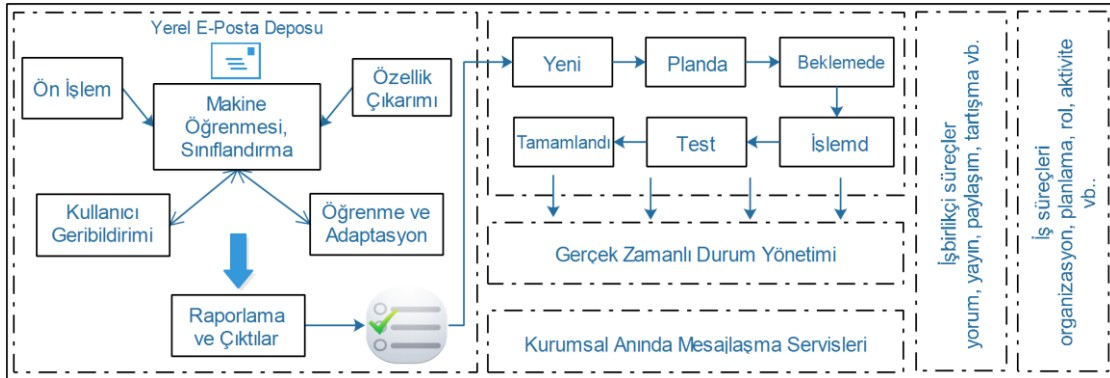
Doğruluk(Accuracy)	Keskinlik(Precision)	Duyarlılık(Sensitivity)	F-metric
$A = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP}$	$P = \frac{TP}{TP + FP}$	$R = \frac{TP}{TP + FN}$	$F = \frac{2 * P * R}{P + R}$

Tablo 2. Sınıflayıcılara ilişkin karmaşıklık matrisleri
(Complexity matrices for classifiers)

Centroid			ANN			SVM		
Tahmin	Gerçek (Actual)		Tahmin	Gerçek (Actual)		Tahmin	Gerçek (Actual)	
	ToDo	Normal		ToDo	Normal		ToDo	Normal
	ToDo	171		10	ToDo		173	8
Normal	4	190	Normal	2	192	Normal	48	200

Tablo 3. Sınıflayıcılara ilişkin performans ölçütleri
(Performance criteria for classifiers)

Sınıflayıcı	A	P	R	F-metrik	AUC
Centroid	0.9627	0.9448	0.9771	0.9607	0.9636
ANN	0.9733	0.9558	0.9886	0.9717	0.9795
SVM	0.8720	1.0000	0.7257	0.8411	0.8629



Şekil 5. Uygulama mimarisi
(Application architecture)

Geliştirilen uygulamanın e-posta istemcisinin gelen kutusundaki iletiler, Şekil 6'da gösterildiği gibi "ToDo" ve "Normal" ileti olarak etiketlenmiştir. "ToDo" etiketine sahip iletiler, kullanıcının onayından sonra iş listesine aktarılmaktadır.

Subject	Date
"Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket"	29.4
ToDo "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket"	27.4
Re: Academic document portal	
NewTicket	27.4
"Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket"	27.4
Re: image	27.4
ToDo "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket" - "Normal Ticket"	27.4
Cas	

Şekil 6. Sınıflandırılmış gelen kutusu ekranı
(Classified inbox screen)

Project	Responsible Person	Content	Status	Ticket ID	Priority
Location Determination					
Item Count=1					
Location...	Mail Address	Academic Document Portal	Planned	TK000001...	High
BNet					
Item Count=44					
BNet	Mail Address	Academic Document Portal	New	TK000000...	Medium
BNet	Mail Address	Academic Document Portal	Test	TK000000...	Medium
BNet	Mail Address	Academic Document Portal	Test	TK000000...	Medium
BNet	Mail Address	Academic Document Portal	Approved	TK000000...	Medium
BNet	Mail Address	Academic Document Portal	Test	TK000000...	Medium
BNet	Mail Address	Academic Document Portal	New	TK000001...	Medium
BNet	Mail Address	Academic Document Portal	New	TK000001...	Medium

Şekil 7. İş listesi ve yeni iş bildirimi
(Task list and new task notification)

İş listesine aktarılan ileti, gerçek zamanlı bildirim (push notification) olarak bu işle ilişkili diğer kullanıcılara bildirilmektedir. Ayrıca, iş listesine dönüştürülen e-posta iletileri üzerinden alınan tüm cevaplar ve iş değişiklikleri todo list uygulaması ile takip edilebilmektedir. İş listesine eklenen bir e-postanın ilgili kullanıcılara XMPP altyapısı kullanılarak yapılan bildirimi Şekil 7’de gösterilmiştir. Kullanıcı iş listesine eklenen e-posta iletilerine, todo list uygulaması üzerinden erişilebilmektedir. Bu e-postanın cevap iletileri görüntülenebilmekte ve bu iş üzerinde oluşan tüm hareketler, ilgili kişiye bilgi e-postası olarak gönderilmektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND EVALUATIONS)

E-posta sistemleri, kurumsal iş akışlarının yürütüldüğü önemli bir iletişim ortamıdır. Dolayısıyla, e-posta iletileri, todo list, planlama vb. iş uygulamaları için önemli girdiler sağlamaktadır. Bu çalışma ile işbirlikçi çalışmaya uygun, kurumsal anında mesajlaşma altyapısı üzerinde, akıllı e-posta istemcisi ve todo list yönetim uygulaması geliştirilmiştir. E-posta istemcisi, kullanıcının gelen kutusundaki iletileri sınıflandırabilmekte ve bu iletileri todo list uygulamasına aktarabilmektedir. Bu entegrasyon sayesinde dikkatsizlik nedeniyle e-posta üzerinden iletilen müşteri talepleri ve şikayetleri anında todo list

uygulanmasına aktararak yaşanacak iş kayıpları, taleplere zamanında cevap verememe gibi sorunlar büyük oranda azalacak, sonuçlandırılmayan işlerden dolayı geciken hizmet faturalamaları ve tahsilat sorunları ortadan kalkacak, personelin daha verimli bir şekilde çalışması sağlanacaktır. Sistem iş kayıplarını azaltarak firma karlılığı artırırken, diğer yandan firmanın daha iyi bir müşteri ilişkileri yönetimi geliştirmesine katkıda bulunacaktır.

Çalışmada sınıflayıcı olarak merkez tabanlı sınıflayıcı, yapay sinir ağları ve destek vektör makinaları kullanılmış, ilgili sınıflayıcıların karşılaştırılması için çeşitli metrikler hesaplanmış ve ROC grafikleri verilmiştir. Bu metrikler incelendiğinde, gerek doğru sınıflandırma oranı, gerek f-metrik değeri, gerekse AUC oranları açısından en yüksek değerler yapay sinir ağlarında elde edilmiştir. Bu nedenle, bu çalışma için sınıflandırma performansı en yüksek sınıflayıcı olarak yapay sinir ağları öne çıkmıştır. Çalışmada en düşük performans değerlerine sahip sınıflandırıcı ise destek vektör makinaları olmuştur. Merkez tabanlı sınıflayıcı ise çok basit bir sınıflayıcı olmasına karşın neredeyse yapay sinir ağlarına yakın performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Çalışmada kullanılan veri setinin sınıflandırılması sonucunda en yüksek başarıya sahip olan yapay sinir ağlarına ait ağırlıklar, geliştirilen kurumsal mesajlaşma ve iş yönetim uygulamasına entegre edilmiştir. Bu entegrasyon sonucunda tasarlanan uygulama, kullanıcının gelen kutusundaki e-posta iletilerini, “ToDo” ya da “Normal” olarak etiketleyebilmekte ve bu iletilerin iş listesine aktarımı için fonksiyonlar sunmaktadır.

Sonuç olarak, çalışma ile e-posta sistemlerinin kurumsal uygulama ve iş süreçlerine katılımı için yeni bir yöntem önerilmektedir. Sonraki çalışmalarda gelen e-postaların içeriği analiz edilerek, iletinin hangi çalışma grubu ya da personelle ilgili olduğu tespit edilmeye çalışılacak ve görev bağlama işi tamamen otomatikleştirilecektir. Ayrıca gelen e-postalar, önceki postalarla karşılaştırarak müşteriler için otomatik cevaplama sistemleri, şirket personeli için ise, daha önce karşılaşılan aynı sorunların çözümüne ilişkin öneri ve tavsiye sistemi geliştirilmesi düşünülmektedir. Böylelikle kurum hafızasının oluşturulmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunulacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen ve Detaysoft Ar-Ge Merkezi bünyesinde yürütülen 3150617 no’lu projenin bir sonucudur. Test ortamı ve desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] G. Tang, J. Pei, W. S. Luk, "Email Mining: Tasks, Common Techniques, and Tools", *Knowledge and Information Systems*, 41(1), 1-31, 2014.
- [2] M. Suit, H. Wortmann, "Discovery and analysis of e-mail-driven business processes", *Information Systems*, 37(2), 142-168, 2012.
- [3] K. Coussement, D. V. Poel, Improving customer complaint management by automatic email classification using linguistic style features as predictors, *Decision Support Systems*, 44(4), 870-882, 2008.
- [4] L. Dey, S. Bharadwaja, G. Meera, G. Shroff, Email Analytics for Activity Management and Insight Discovery, **IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technology (IAT)**, 557-564, 2013.
- [5] S. S. Weng, C. K. Liu, "Using text classification and multiple concepts to answer e-mails", *Expert Systems with applications*, 26(4), 529-543, 2004.
- [6] S. Appavu, R. Rajaram, M. Muthupandian, G. Athiappan, K. S. Kashmeera, "Data mining based intelligent analysis of threatening e-mail", *Knowledge-Based Systems*, 22(5), 392-393, 2009.
- [7] M. F. Wan, M. F. Tsai, S. L. Jheng, C. H. Tang, "Social feature-based enterprise email classification without examining email contents", *Journal of Network and Computer Applications*, 35(2), 770-777, 2012.
- [8] Internet: Openfire XMPP Server, a real time collaboration community, <http://www.igniterealtime.org>, 08.01.2016.
- [9] B. Yu, D. Zhu, "Combining neural networks and semantic feature space for email classification", *Knowledge-Based Systems*, 22(5), 376-381, 2009.
- [10] I. Alsmadi, I. Alhami, "Clustering and classification of email contents", *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 27(1), 46-57, 2015.
- [11] D. C. Soares, F. M. Santoro, F. A. Baiao, "Discovering collaborative knowledge-intensive processes through e-mail mining", *Journal of Network and Computer Applications*, 36(6), 1451-1465, 2013.
- [12] J. R. Méndez, M. Reboiro-Jato, F. Díaz, E. Díaz, F. Fdez-Riverola, "Grindstone4Spam: An optimization toolkit for boosting e-mail classification", *The Journal of Systems and Software*, 85(12), 2909-2920, 2012.
- [13] I. Koprinska, J. Poon, J. Clark, J. Chan, "Learning to classify e-mail", *Information Sciences*, 177(10), 2167-2187, 2007.
- [14] P. Pankaj, M. Hyde, J. A. Rodger, "P2P Business Applications: Future and Directions", *Communications and Network*, 4, 248-260, 2012.
- [15] S. V. Ragavana, I. K. Kusnanto, V. Ganapathy, "Service Oriented Framework for Industrial Automation Systems", *Procedia Engineering*, 41, 716-723, 2012.
- [16] M. G. Armentano, A. A. Amandi, "Enhancing the experience of users regarding the email classification task using labels", *Knowledge-Based Systems*, 71, 227-237, 2014.
- [17] E. H. S. Han, G. Karypis, "Centroid-Based Document Classification: Analysis and Experimental Results", **European conference on principles of data mining and knowledge discovery**, 424-431, Springer Berlin Heidelberg, Eylül 2000.
- [18] L. Fausett, **Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications**, Prentice Hall, Inc., 1994.
- [19] J. Clark, I. Koprinska, J. Poon, A Neural Network Based Approach to Automated E-mail Classification, **International Conference on Web Intelligence (WI'03)**, 702-705, 2003.
- [20] O. Kaynar, F. Demirkoparan, "Forecasting Industrial Production Index with Soft Computing Techniques", *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 46(3), 113-138, 2012.
- [21] C. Cortes, V. Vapnik, "Support-Vector Networks", *Machine Learning*, 20(3), 273-297, 1995.
- [22] Internet: A. A. Akin, M. D. Akin, NLP library, NZemberek 0.1.0, <http://www.nuget.org/packages/NZemberek>, 11.02.2016.

Optimizasyon Tabanlı Adaptif Görüntü Mozaikleme Algoritması

Mehmet KARAKÖSE¹, Hasan YETİŞ¹, Taha MÜEZZİNOĞLU¹

¹Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ
mkarakose@firat.edu.tr, h.yetis@firat.edu.tr, tmuezzinoglu@firat.edu.tr
 (Geliş/Received: 02.02.2017; Kabul/Accepted:03.09.2017)
 DOI: 10.17671/gazibtd.289344

Özet— Görüntü işleme, dijital ortamdaki görüntüler üzerinde bir amaç doğrultusunda gerekli analizler veya değişikliklerin yapılmasına yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Son zamanlarda görüntü işleme tekniklerinden en çok kullanılanlardan biri de ortak sahneleri içeren resimler üzerinde işlem yapan ve bunları çakıştırarak birleştiren görüntü mozaikleme işlemidir. Bu çalışmada kendi kameramızdan elde ettiğimiz görüntüler üzerinde MATLAB ortamında görüntü mozaikleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüntü mozaikleme için, özellik tabanlı görüntü mozaiklemenin temel adımları olan anahtar noktaların tespiti, bu noktaların eşleştirilmesi, hatalı eşleşmelerin elenmesi ve homografi tahmini uygulanmıştır. Uygulamada özellik çıkarımı için SIFT algoritması seçilmiş, elde edilen homografi matrisi yardımı ile gerekli dönüşüm işlemleri uygulanarak görüntü mozaikleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Mozaikleme işleminin kalitesini artırmak adına optimizasyon yöntemi olan genetik algorithmadan yararlanılmıştır. Uygulamada giriş görüntü sayıları ve mozaikleme parametreleri farklı seçilerek çeşitli karşılaştırma işlemleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler— Genetik algoritma, Görüntü işleme, Görüntü mozaikleme, Optimizasyon.

Optimization Based Adaptive Image Mosaicing Algorithm

Abstract— Image processing involves studies to make necessary analyzes or changes in an image aimed at digital images. One of the most recent use of image processing techniques is image mosaicking, which processes and combines images containing common scenes. In this study, we performed image mosaicing in the MATLAB environment on the images we acquired from our own camera. The key steps for feature-based image mosaicking which are detection of key points, matching of these points, elimination of mismatches and homography estimation are applied for image mosaicing. In the application, the SIFT algorithm was selected for feature extraction and image transformation was performed with the help of the obtained homography matrix. In order to increase the quality of the mosaic process, genetic algorithm, which is an optimization method, has been used. Various comparisons were performed by taking different input counts and by choosing different image mosaicing parameters.

Keywords— Genetic algorithm, Image processing, Image mosaicing, Optimization.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Görüntü işleme, görüntüler üzerinde bir takım işlemler yaparak, görüntüden bilgi veya yeni bir görüntü elde etme işleminin genel adıdır. Görüntü işleme teknikleri; bilgisayar türevi makineler tarafından, görüntüden anlam çıkarmak için kullanıldıkları gibi görüntüdeki gürültüleri eleme, görüntünün renk dengesini düzenleme ve daha yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etme gibi görüntü iyileştirme işlemleri için de yaygın olarak kullanılırlar. Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde görüntü işleme yöntemlerinin birçok alanda kullanımları mevcuttur [1,2].

Günümüzde çalışmalara en çok konu olan görüntü işleme uygulamalarından biri de görüntü mozaikleme olarak

bilinen görüntü birleştirme işlemidir. Görüntü mozaikleme ortak noktaları bulunan veya belli noktaları çakışan iki veya daha fazla resmin belirli algoritma ve yöntemler vasıtasıyla birleştirilip daha büyük alanı kapsayan görüntü elde edilmesidir [3]. Görüntü mozaikleme yönteminde amaç görüntü kalitesini düşürmeden daha büyük alana ait bir resimler bütünü oluşturmaktır.

Görüntü mozaikleme düşük maliyetle daha yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler elde etmede çok sık kullanılırlar. Büyük bir sahneye ait tek bir görüntü karesi elde etmek için kameranın yeterince uzak bir konumda bulunması gerekmektedir. Kamera çalışma prensibine göre uzaktan alınan görüntüde daha büyük alanlar daha küçük pikseller ile ifade edildiğinden dolayı görüntüdeki

detaylar kaybolur. Görüntü mozaikleme yöntemi sayesinde aynı alana ait daha yakından alınan görüntüler ile yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek mümkün olmaktadır. Alınan bu görüntüler düz bir biçimde birbirine eklenebileceği gibi panoramik görüntü elde etmede de kullanılabilirler [4].

Literatürde görüntü mozaikleme ile ilgili yapılmış birçok makale ve tez çalışması mevcuttur. Divya, yüksek çözünürlüğe sahip geniş açılı manzara fotoğrafları elde etmek için görüntü mozaiklemede sıklıkla kullanılan özellik çıkarma, anahtar nokta eşleştirme, küme analizi ve dinamik programlama gibi genel yöntemlerin yanında birleşmiş görüntüyü yumuşatmak ve geçişleri belli olmayan görüntü elde etmek için ağırlıklı ortalama yöntemini de kullanmıştır. Kullandığı maskeleye ile Divya'nın yöntemi karanlık alanlarda etkili sonuçlar vermesine rağmen aydınlık alanlar için yetersiz kalmıştır [5]. Lin çalışmasında panoramik görüntüler elde edebilmek için görüntü mozaikleme yöntemi kullanmıştır. İlk önce lensten gelen bozulmaları gidermek için geriye dönük bölünme, sonra tutarlılığı sağlamak için silindirik izdüşümü yönteminden yararlanmıştır. Özellik tespiti için ölçekten bağımsız özellik dönüşüm yöntemi (SIFT) ve yanlış eşleştirmeleri elemine etmek için rastgele örneklerin fikir birliği (RANSAC) algoritmalarını kullanmıştır [4]. Elibol su altında alınan görüntülerin mozaiklenmesi işlemi için alt haritalama yöntemlerinden yararlanmıştır. Elibol çalışmasında özellik tanımlayıcıların eşleşmesine ve benzerliğine bağlı olarak alt haritaları oluşturabilmek için aglomeratif hiyerarşik kümeleme yöntemini kullanmıştır [6]. Patel yaptığı görüntü mozaikleme çalışmasında görüntüleri eşleştirmek için hızlandırılmış sağlam özellikler yöntemini (SURF) kullanmıştır. SURF özelliklerini eşleştirmek içinse karesel farkların toplamı (SSD) yönteminden yararlanmış, yanlış eşleştirmeleri RANSAC ile yok etmiştir. Ayrıca Patel çalışmasında Harris ile SURF yöntemlerini kıyaslamış ve SURF'un çok görüntülü görüntü mozaiklemede daha doğru sonuçlar verdiği kanaatine varmıştır [7]. Akram çalışmasında sistematik hastalıkların teşhisinde kullanılan ancak maksimum 45 derecelik açıyla alınabilen fundus görüntülerini birleştirerek tek bir görüntü elde etmeyi başarmıştır. Özelliklerin çıkarılması aşamasında Weber yerel tanımlayıcıları kullanmış, bu yöntemin performansını SURF, SIFT ve ASIFT gibi güncel algoritmalarla kıyaslamıştır [8].



Şekil 1. Literatürde geçen genel mozaikleme adımları [9]
(Basic mosaicing steps in literature)

Huang video gibi ardışık ve birbiri arasında çok az fark bulunan görüntülerin mozaiklenmesi üzerine çalışmış, bütün görüntü karelerini birleştirmek yerine aralarında kayda değer farklar bulunan görüntü karelerini mozaikleme işlemine tabii tutmuştur. Meydana gelebilecek hayalet görüntüleri engellemek için çalışmalar yapmıştır [10]. Lee çalışmasında özellik çıkarımı için SURF algoritmasını, eşleştirme işlemi için yönlü gradyan histogram (HoG) yöntemini ve yaklaşık en yakın komşuluk (ANN) algoritması kullanmış olup, hatalı eşleşmeleri elemek için RANSAC algoritmasından yararlanmıştır. Elde edilen görüntüdeki geçişlerin yumuşatılması işlemi çok bantlı harmanlama algoritması sayesinde gerçekleştirilmiştir [11]. Qiu görüntü mozaikleme işleminde görüntülerden sadece birinde yer alan nesnelere sebep olduğu hayalet görüntüleri elemek için çalışmıştır. Yapılan çalışmada özellik çıkarımı için SIFT algoritması kullanılırken, hatalı eşleştirmeleri elemek için RANSAC algoritması kullanılmıştır. Optimum birleştirme çizgisini tespit etmek için ise dinamik programlama yöntemlerinden yararlanılmıştır [12]. Laraqui yaptığı çalışmada özellik çıkarma ve eşleştirme işlemini SIFT algoritmasını kullanarak gerçekleştirmiştir. Laraqui'nin çalışmasında farklı olarak hatalı eşleşmelerin elenmesinde voronoi diyagramından yararlanılmıştır [13].

Literatürdeki çalışmalar göz önüne alındığında genellikle görüntü mozaikleme işleminin adımları üzerinde geliştirmeler yapılarak daha iyi sonuçlar elde etmeye çalışıldığı gözlemlenmektedir. Oysa mozaikleme işleminde kullanılan parametrelerin optimize edilmesi de mozaikleme sonucu elde edilen görüntünün kalitesini etkilemektedir.

Bu çalışmada giriş görüntü sayıları ve görüntü mozaikleme parametreleri farklı alınarak çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. Böylelikle parametre değerlerinin seçimlerinin mozaikleme işlemine etkileri vurgulanmıştır. Ardından kendi kameramızdan aldığımız görüntüler üzerinde, geliştirdiğimiz optimizasyon tabanlı adaptif görüntü mozaikleme yöntemi uygulanmıştır.

Gerçekleştirilen yöntemde özellik çıkarımı için SIFT algoritmasından, hatalı eşleşmelerin elenmesi için ise RANSAC algoritmasından yararlanılmıştır. Görüntü mozaikleme parametreleri olan anahtar nokta sayısı, benzerlik oranı ve küme merkezi sayısının birleştirilen görüntünün kalitesine olan etkileri incelenmiştir. Bu parametrelerin en iyi birleştirme kalitesini sağlaması için alması gereken değerler, her görüntü mozaikleme problemi için farklı olacaktır; yapılan çalışma ile bu parametrelerin optimum değerlerinin bulunması ve görüntü mozaikleme işleminin kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntem MATLAB ortamında uygulanarak deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

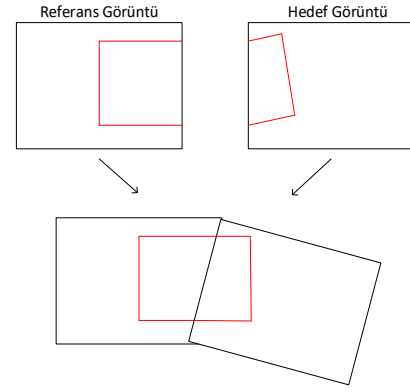
2. GÖRÜNTÜ MOZAIKLEME (IMAGE MOSAICING)

Görüntü mozaikleme, aynı sahneye ait birden fazla görüntünün içerdikleri ortak alanlara göre çakıştırılarak daha çok detay içeren tek bir görüntü elde edilmesi işlemidir [14]. Görüntü mozaikleme sayesinde görüntü alacağımız alanın resimlerini birbiriyle çakışacak şekilde parça parça çeker ve birleştirirsek daha kaliteli ve yüksek pikseli resimler elde edebiliriz. Genel olarak görüntü mozaikleme; düşük maliyetle daha kaliteli görüntü elde etmek, tek bir kameranın görüş açısına sığmayacak kadar büyük alanları fotoğraflamak, panoramik resimler oluşturmak ve bir video içerisindeki hareketli nesnelere silmek gibi çeşitli amaçlarla kullanılabilir.

Günümüzde farklı amaçlarla veya farklı yöntemlerle çalışmalara konu olmuş birçok görüntü füzyon tekniği mevcuttur [15,16]. Bu tekniklerden biriside bizimde kullanmış olduğumuz görüntü mozaikleme tekniğidir. Görüntü mozaikleme tekniğinin kullanıldığı başlıca alanlar şu şekilde gruplandırılabilir;

- Akıllı Sistemler ve Robotlar (Kamera sistemleri)
- Tıbbi Uygulamalar (Bilgisayar destekli cerrahi)
- Askeri Uygulamalar (İnsansız hava araçları vb.)
- Tarımsal Uygulamalar (Tarımsal arazi planlaması)
- Coğrafi Uygulamalar (Haritalama vb.)

Birleştirilecek görüntülerin sayısından bağımsız olarak, görüntü mozaikleme işlemi her adımda sadece iki resim arasında gerçekleşir [17]. Resimlerden bir tanesi referans, diğeri ise hedef görüntü olarak adlandırılır. Hedef görüntü ve referans görüntüdeki eşleşmiş noktalar çakışacak biçimde hedef görüntü yeniden şekillendirilir. Yeniden şekillendirilen görüntü referans görüntüye eklenerek daha büyük bir resim elde edilmiş olunur (Şekil 2). Elde edilen görüntü bir sonraki aşamada referans görüntü olarak kullanılabilir.



Şekil 2. Görüntü mozaikleme işlemi [3]
(Image mosaicing process)

Görüntü mozaikleme için iki boyutlu uzayda ve frekans uzayında uygulanmak üzere yöntemler geliştirilmiştir [18]. Uzay domaininde uygulanan yöntemler kendi içerisinde alan tabanlı ve özellik tabanlı olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Alan tabanlı yöntemler, iki resimdeki alanları renk yoğunluklarına göre eşleştirdiğinden; boyut değişimleri, ışık değişimleri ve pozisyon değişimleri alan tabanlı yöntemlerin çalışmasını ciddi derecede olumsuz bir biçimde etkilemektedir. Bu çalışmada yararlanılan ve özellik tabanlı yöntemler kategorisinde yer alan ölçekten bağımsız özellik dönüşüm (SIFT – *Scale Invariant Feature Transform*) yöntemi bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır [19].

Özellik tabanlı görüntü eşleştirmede öncelikle giriş görüntülerine ait anahtar noktalar tespit edilir ve bu noktalara ait özellikler çıkartılır. Bu sayede iki resim arasında tüm piksellerin karşılaştırılması yerine sadece karakteristik bölgelerin karşılaştırılması yapılır. Özellikler çıkarıldıktan sonra özellikleri bakımından benzerlik gösteren noktalar birbiri ile eşleştirilir, bu sayede resimler arasındaki ilişki kurulmuş olunur. Çıkarılan özellikler görüntüdeki renk geçişleri ile doğrudan alakalı olduğundan, algoritmamız aynı geçişlere sahip bölgeleri aynı bölge gibi görecektir. Sonuç olarak istenmeyen eşleşmeler de meydana geleceğinden dolayı, hatalı eşleşmelerin elenmesi gerekir. Bu yönetime göre eşleşme olarak kabul edilen bölgelerin geometrik olarak diğer noktaların düzenine ters düşmesi durumunda aykırı nokta olarak belirlenir ve işleme alınmaz. Elde kalan eşleşmelerden faydalanarak homografi tahmini yapılır ve elde edilen bu matris kullanılarak resim eğilip bükülür. Son olarak aynı düzlemde gösterilen görüntülerin üst üste gelen kısımlarındaki renk farklılıklarını ortadan kaldırmak için renklerde harmanlama yapılır [20]. Özellik tabanlı görüntü mozaikleme adımları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Özellik tabanlı görüntü mozaikleme adımları [20]
(Steps of feature-based image mosaicing)

2.1. Özellik Çıkarımı (Feature Extraction)

Görüntü mozaiklemede, özellik çıkarımının ilk aşaması olarak anahtar noktaların tespiti işlemi gerçekleştirilir. İki görüntünün kıyaslanma işlemi piksel bazında bütün pikseller için gerçekleştiğinde ortaya büyük hesaplama maliyeti çıkmaktadır. Bu yüzden resimde yer alan nesnelerin kenar, köşe veya kabarcık gibi karakteristik bölgeleri tespit edilerek, sadece bu bölgeler üzerinden kıyaslama ve eşleştirme işlemi yapılmaktadır [21]. İki görüntü arasındaki benzerliğin hesaplanması için anahtar noktalara ait özelliklerin bilinmesi gerekir. Görüntünün karakteristik yapısını, özellik haritasını çıkarmak için gerekli bir adımdır. Anahtar nokta tespiti için birçok algoritma önerilmiştir. Harris [22], SIFT [23], Susan [24], Canny [25], Kitchen-Rosenfeld [26] algoritmaları bunlardan bir kaçıdır.

Köşe bulma algoritması olan Moravec [27], komşu pikseller arasındaki değer farkını temel olarak köşe tespiti yapan ilk algoritmadır. Moravec yöntemi üzerine iyileştirmeler yapılarak Harris kenar bulma algoritması geliştirilmiştir. Susan yöntemi ise dairesel bir alan içerisinde kalan piksellerin değerlerinin karşılaştırmasına dayalı bir kenar ve köşe bulma algoritmasıdır. Bu çalışmada kullanmış olduğumuz SIFT algoritması, diğer algoritmalarından avantajlı olarak, kontrast değerinden, ortamdaki ışık oranından ve kamera açısından diğerlerine göre daha az etkilenen bir yöntemdir.

2.1.1. SIFT Algoritması (SIFT Algorithm)

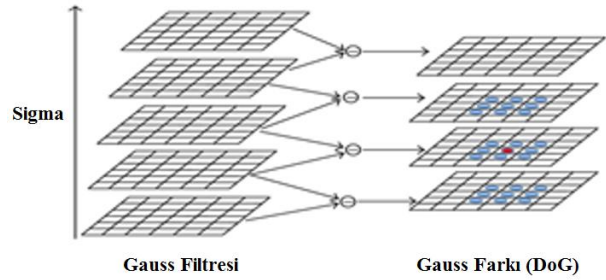
Anahtar nokta tespiti için kullanılan SIFT operatörünün en önemli özelliği, görüntünün boyutundan, ışık

miktarından, kamera açısının değişiminden, kontrast ya da gürültüden etkilenmemesidir [28]. Bir görüntünün farklı sahneleri arasındaki değişmeyen özellikleri ayıklamak, resimlerdeki farklılıkları ve resmin herhangi bir nesneyi içerip içermediği gibi konuları gerçekleştirmek için geliştirilmiştir. Dört temel aşamadan oluşur.

- Uç değer noktaların belirlenmesi
- Anahtar noktaların tespiti
- Yönelim açısı ve büyüklüğünün hesaplanması
- Anahtar nokta tanımlayıcılarının elde edilmesi.

2.1.1.1. Uç Değer Noktaların Belirlenmesi

Görüntü üzerindeki uç değer noktaların konumlarını tespit etmek için kademeli bir filtreleme yaklaşımı uygulanır. Ölçek uzayının belirleme işleminde Gauss farkı (DoG), yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemde öncelikle görüntünün farklı sigma değerleri için gauss filtresine tabii tutulmuş halleri elde edilir. Gauss farkı yöntemi ile uç noktalar daha belirgin hale getirilmiş olunur (Şekil 4). Bu sayede görüntüdeki karakteristik noktalar ön plana çıkmış olur.



Şekil 4. Gauss farkı yöntemi [29]
(Difference of Gaussian method)

2.1.1.2. Anahtar Noktaların Belirlenmesi

Uç noktaların tespiti işlemi sonucu, gerçekte uç nokta olmayan birçok nokta da uç nokta olarak belirlenmiş olur. Bunlar gibi kararlı olmayan zayıf uç noktaların nihai anahtar noktalar kümesine dahil edilmemesi gerekir. Bunun için bazı filtrelemeler ve eşiklemeler yardımı ile kontrastı düşük ve zayıf uç noktalar elenir (Şekil 5).



Şekil 5. Tespit edilen zayıf ve gerçek uç noktalar [30]
(Detected weak and real interest points)

2.1.1.3. Yönelim Tespiti

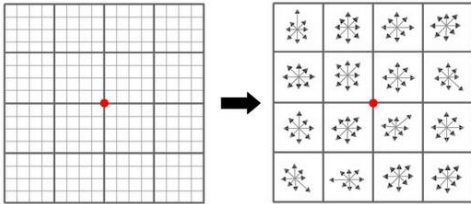
Bir önceki adımda bulunan her anahtar noktaya ait yönelim açısı ve büyüklüğü hesaplanır. Resimdeki her anahtar noktanın tüm komşu pikselleri için bu hesap yapılır. Her anahtar nokta adayının etrafında bir alan seçilir, yumuşatılmış görüntü (L) üzerinde bu değerler hesaplanır. $m(x,y)$ yönelim büyüklüğü formülü (1) ile, $\theta(x,y)$ yönelim açısının formülü (2) ile verilmiştir [31].

$$\sqrt{(L(x+1,y) - L(x-1,y))^2 + (L(x,y+1) - L(x,y-1))^2} \quad (1)$$

$$Q(x,y) = \tan^{-1} \frac{(L(x+1,y) - L(x-1,y))}{(L(x,y+1) - L(x,y-1))} \quad (2)$$

2.1.1.4. Anahtar Nokta Tanımlayıcıların Bulunması

Yönelim açıları ve büyüklükleri hesaplanan anahtar noktaların etrafındaki tanımlayıcıları tespit edilir. Anahtar noktanın 16x16'lık komşularını içeren 4x4'lük bir alan içerisinde gerçekleşen tanımlayıcıların tespiti işlemi Şekil 6 ile verilmiştir. Bu alt alanlarda, 45'er derecelik dilimler dahilinde aynı bölgeye denk gelen yönelim büyüklükleri toplanarak histogram değerleri oluşturulur. Sonuç olarak 4x4'lük karenin her biri 8 vektörel büyüklüğe sahiptir ve elde edilen SIFT özelliği 128 boyutunda bir vektördür.



Şekil 6. Anahtar nokta tanımlayıcılarının bulunması
(Detection of interest point descriptors)

2.2. Görüntü Eşleştirme (Image Registration)

Görüntü eşleştirme, anahtar nokta özelliklerinin tespiti yapıldıktan sonra tespit edilen anahtar noktaları birbiri ile eşleştirmek için kullanılır. İki görüntü üzerinde tespit edilen noktalar, özelliklerinin benzerliklerine göre birbirleri ile eşleştirilir. Bu işlem ile farklı görüntülerde benzer ya da aynı nesnelere tespit edilmiş olunur. Görüntü eşleştirmede söz konusu olduğunda temel olarak iki farklı yöntem karşımıza çıkar. Bunlar özellik tabanlı eşleştirme ve korelasyon ile eşleştirmedir.

Özellik tabanlı eşleştirmede, ilk görüntüdeki her anahtar nokta ile ikinci görüntüdeki tüm anahtar noktalar karşılaştırılır. İki görüntüde aynı nesneye ait görüntüler için birebir aynı özellik elde etmek pek mümkün olmayacağından, eşleştirme yaparken birebir eşleştirme yerine bir eşitsizlik kısıtlaması kullanılır. İkinci yöntem

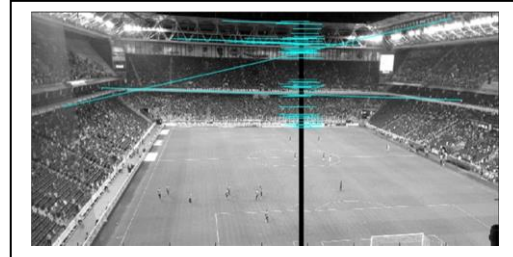
olan korelasyon ile eşleştirmede ise, verilen koordinatlar ile iki görüntü arasındaki ilk keyfi eşleştirme bulunur. Sonraki amaç, eşleştirme işlemi için ikinci görüntüdeki anahtar noktaya karşılık gelen özelliği bulmaktır. İkinci görüntüdeki her anahtar noktanın karşılaştırılması zaman açısından pahalı bir yöntemdir. Bunun yerine korelasyon tabanlı bir teknik olan korelasyon penceresi oluşturulur. Benzerlik ölçütü olarak kosinüs benzerliği veya Öklit benzerlik kriterleri kullanılır. Kullanılan geliştirme aracının hangisinde daha iyi performans gösterdiği belirlenir ve buna göre seçim yapılır [30].

2.2.1. Kosinüs Benzerlik Ölçütü ile Görüntü Eşleştirme

Bu yöntemde, anahtar noktaların yönelim büyüklükleri ve ağırlıkları parametre olarak alınır. Alınan bu büyüklükler birer vektör oluşturur. Bu vektörlerin noktasal çarpımlarının, vektörel çarpımlarına oranı bize kosinüs benzerlik değerini verir (3).

$$\cos(V1, V2) = \frac{\text{dot}(V1, V2)}{||V1|| \cdot ||V2||} \quad (3)$$

Etkili bir eşleştirme için en yakın komşu mesafesi karşılaştırılması yapılır [32]. Benzerlik oranı, belirlenen eşik değerinin altında olan eşleştirmeler yok sayılarak yanlış eşleştirmeler ayıklanır. Sonuç olarak iki resim arasında benzerlik gösteren noktalar eşleşmiş olarak kabul edilir (Şekil 7).



Şekil 7. İki görüntü arasındaki eşleşen anahtar noktalar
(Matched interest points between the two images)

2.3. Eşleşmiş Noktalar İle Homografi Tahmini

Eşleştirme işlemi sonucunda iki görüntüde de ortak olan nesnelere belirlenmiş ve eşleştirilmiş olunur. Görüntü birleştirme işlemi için tespit edilen ortak nesnelere birbiri ile karşılaştırılacak şekilde ayarlanması için görüntülerin aynı düzleme düşürülecek şekilde yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Homografi adı verilen matris sayesinde bir görüntüdeki ilgili koordinatların dönüştürülerek diğer görüntüdeki ilgili koordinatlara denk gelmesi sağlanır.

2.3.1. Aykırı Eşleşmelerin Elenmesi

Hatalı eşleştirmeler olduğunda iki resmi aynı düzleme düşürmeye çalıştığımızda problemlere yol açacaktır. Bundan dolayı edilen uyumsuz noktaların elenmesi gerekmektedir. Dönüşüm parametrelerini tahmin etmede kullanılan RANSAC algoritması, her adımda rastgele

verileri kullanarak en iyi sonuca ulaşmaya çalışan iteratif bir yöntemdir [33]. Bu yöntem ile muhtemel hatalı eşleşmelerin eleme işlemi gerçekleştirilir.

Genetik algoritmalar, destek vektör makineleri, bulanık küme sınıflandırıcıları, K-NN gibi yöntemler örnek tabanlı sınıflandırma yöntemleri arasında yer almaktadır. Bu çalışmada örnek tabanlı sınıflandırma yöntemlerinden olan K-NN sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. K-NN, kendisine parametre olarak gelen küme merkezi sayısına göre verilerin bu kümelere ait olup olmadığını tespit eden bir yöntemdir. Hatalı eşleştirmelerden etkilenmemek adına, aykırı verileri farklı bir kümeye atarak bunları göz ardı etmesi sonucun daha doğru üretilmesi açısından avantajlar sağlamaktadır. Sonuçta aykırı noktalardan elenen anahtar noktalar ile homografi tahmininde bulunarak dönüşüm işlemi için altyapı hazırlanmış olunur.

2.3.2. Homografi Tahmini

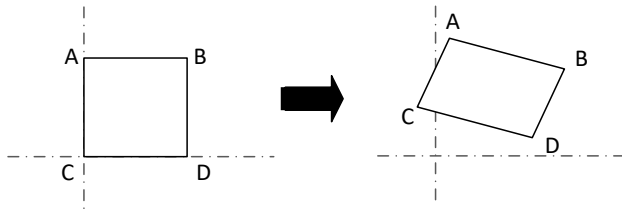
Homografi hedef görüntüdeki anahtar noktaları, referans görüntüde eşleştikleri anahtar noktalar ile aynı düzleme düşürmeye yarar. Dönüşümü yapılacak olan görüntüdeki pikseller homojen gösterim ile ifade edilir. H Homografi matrisi yardımı ile (X_1, Y_1) noktasının yeni konumun (X', Y') belirlenmesi için gerekli işlemler sırası ile (4), (5) ve (6) ile verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X' = \frac{X_n}{Z_n} = \frac{h_{11}X_1 + h_{12}Y_1 + h_{13}Z_1}{h_{31}X_1 + h_{32}Y_1 + h_{33}Z_1} \quad (5)$$

$$Y' = \frac{Y_n}{Z_n} = \frac{h_{21}X_1 + h_{22}Y_1 + h_{23}Z_1}{h_{31}X_1 + h_{32}Y_1 + h_{33}Z_1} \quad (6)$$

Homografi tahmini işlemi her nokta için (5) ve (6)'daki eşitliği en az hata ile sağlayan h parametrelerinin tespit edilmesi ile gerçekleşir. Elde edilen bu matris sayesinde görüntü eğilip bükülerek yeniden şekillendirilir (Şekil 8).

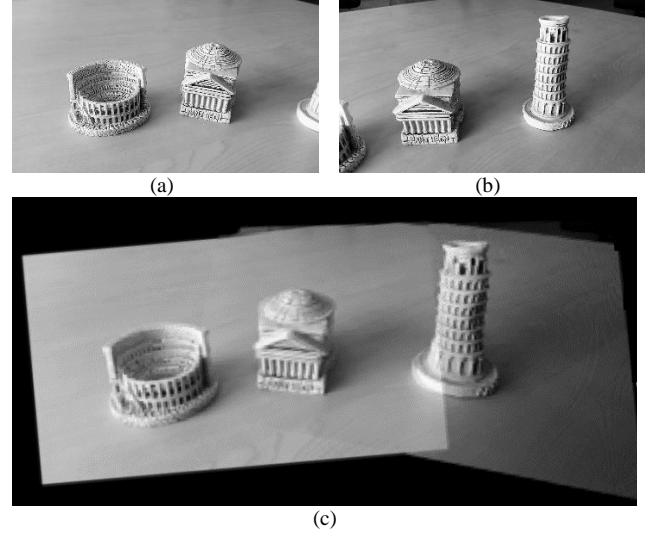


Şekil 8. Homografi dönüşümü
(Homography transform)

2.4. Görüntü Birleştirme

Çeşitli algoritmalar sonucu elde edilen homografi matrisinden yararlanarak görüntülerdeki eşleşmiş alanların üst üste çakıştırılmasını sağlayan son aşamayı oluşturur. Dönüştürülen görüntülerin aynı düzlem üzerinde çizdirilmesi ile görüntü birleştirme işlemi gerçekleştirilir.

Homografi matrisinin uygulanmasının ardından, giriş ve referans olarak alınan görüntüler birbirine göre hizalanır. Boyut kontrol edilir, eğer boyutları eşit değil ise, boyutu eşitlemek adına boş alanlar siyah gösterilir ve iki görüntünün de aynı düzlemde gösterilmesi ile mozaikleme işlemi gerçekleştirilmiş olunur. Kameraların açısı, özelliği ve konumu dolayısı ile örtüşen sahnelerin iki görüntüdeki kontrastları farklı olabilir. Bu olumsuzluğu gidermek adına, çakıştırılacak bölgelerin kontrast değerlerinin ortalaması alınması veya yüksek kontrastlı alanların kontrast açma işlemine tabi tutulması gibi yöntemler mevcuttur [34]. Kontrast farkının mozaiklenen görüntü üzerindeki etkisi Şekil 9'da verilen mozaikleme örneğinde gözlemlenebilmektedir.

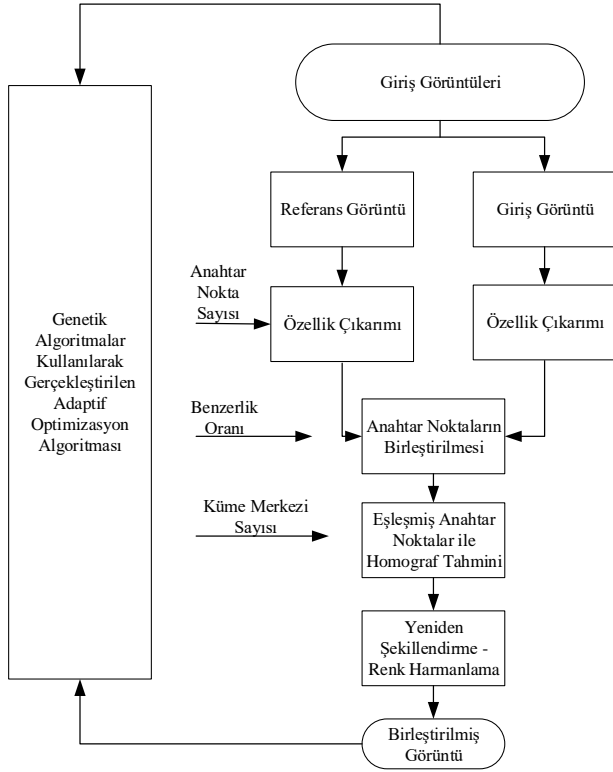


Şekil 9. Renk harmanlama yapılmadan görüntü mozaikleme sonucu: (a),(b) giriş; (c) çıkış görüntüsü
(Mosaicing result without blending operation: (a),(b) inputs; (c) output)

3. ÖNERİLEN YÖNTEM (PROPOSED METHOD)

Şekil 3'te görüleceği üzere mozaiklenmesi gereken görüntüler üzerinde ilk olarak uygulanması gereken adım özellik çıkarma adıdır. Bu adımda görüntülerdeki tüm pikselleri tek tek kontrol etmek yerine sadece karakteristik bölgelerin/piksellerin kontrol edilmesi için görüntü üzerindeki karakteristik bölgeler tespit edilir. Birleştirilecek görüntüler üzerinde anahtar nokta tespiti kenar, köşe veya kabarcık denilen noktalarının bulunması ile gerçekleştirilmektedir. Anahtar noktaları bulunun görüntüler üzerinde çakışan noktaların bulunması için görüntü eşleştirme işlemi yapılır. Görüntü eşleştirme, anahtar nokta özelliklerinin tespiti yapıldıktan sonra bu anahtar noktaların eşleştirilmesi amacı ile kullanılır. Görüntü eşleştirme işleminde ortak noktaların

belirlenmesi için ilk önce KNN algoritması kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılır. Birleştirilecek görüntüler üzerinde çakışan ortak noktalar bulunup görüntüler eşleştirildikten sonra, bulunan noktalar içerisindeki aykırı noktaların tespiti için RANSAC algoritması uygulanır. Aralarında eşleşmiş anahtar noktaları bulunan görüntülerin aynı düzlemde gösterilmesi gerekmektedir.



Şekil 10. Önerilen yöntemin blok diyagramı
(Block diagram of proposed method)

Gerçekleştirilen uzaysal dönüşüm ile giriş görüntüsündeki sahnelerin referans görüntüdeki yerlerine yerleştirilmesi sağlanır. Aykırı örneklerden arındırılmış görüntü matrisleri üzerinde yapılan homografi tahmini kullanılarak benzerlik gösteren sahnelerin karşılaştırılması işlemidir. Görüntülerdeki benzer sahnelerin karşılaştırılması için gereken dönüşüm işlemi, hesaplanan homografi matrisinin görüntüdeki bütün piksellere uygulanması ile gerçekleştirilir.

Son olarak yeniden şekillendirme (*warping*) ve renk harmanlama (*blending*) işlemleri sonucunda görüntüler birleştirilir. Yeniden şekillendirme işlemiyle birleştirilecek görüntülerden biri taban (referans) görüntü olarak seçilir ve görüntüler üzerinde örtüşen noktalara göre diğer görüntülere koordinat düzleminde döndürme işlemi uygulanır. Döndürme işlemi gerçekleştirildikten sonra görüntüler birleştirilir.

Çakışan kısımları bulunan görüntüler birleştirildikten sonra, görüntülerin çakışan kısımlarındaki birleştirme işleminin belli olmaması için, bu kısımlardaki pikseller üzerine renk harmanlama işlemi uygulanır. Renk

harmanlama işlemi; mevcut örtüşen piksellerdeki bozukluğunu gidermek için piksellerdeki ağırlıklı ortalama renk değerlerini kullanarak, piksellerin karıştırılmasını sağlamaktadır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Yüksek çözünürlüğe sahip ideal resimler üzerinde görüntü mozaikleme uygulaması test edilmiştir. Giriş görüntülerinin çözünürlüğü ne kadar yüksek olursa anahtar nokta sayısı bununla orantılı olarak artmaktadır. Anahtar nokta sayısının çok olması olumsuz etkileri ortadan kaldırmaktadır. Yani anahtar nokta sayısının düşmesi ve artması doğruluk oranını etkilese de, kabul edilemez sonuçlar doğurmasına neden olmamaktadır.

Benzerlik oranı, tespit edilen anahtar noktaların belirli bir fark toleransı dahilinde eşleştirilmesi için kullanılan bir kriterdir. Benzerlik oranının yüksek tutulması birbirine daha çok benzer eşleşmelerin elde edilmesine sebep olur. Ancak bu şekilde elde edilen eşleşme sayısında azalma meydana gelir. Eşleşme sayısının yetersiz derecede az olması, anahtar nokta örneklerinin sınıflandırılmasındaki başarısına ve bu da dolayısıyla birleştirme işleminin kalitesine olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Anahtar nokta sayısının fazla olduğu yüksek çözünürlüklü görüntülerde benzerlik oranının düşük olması, homografi tahmini için yine yeterli sayıda eşleşmenin sağlanmasına mani olmayacağından dolayı, bu tarz görüntülerde etkisi daha azdır. Ancak tespit edilen anahtar nokta sayısının az olduğu düşük çözünürlüklü görüntülerde bu oran daha büyük bir önem arz etmektedir.

Toplam küme merkezi sayısı eşleştirmenin doğruluğunu, dolayısı ile mozaikleme işleminin kalitesini etkileyen bir başka faktördür. Eşleşen anahtar noktaların, dışardan girilen bu parametreye bağlı olarak kümelendirilmesi işleminden sonra dönüşüm işlemi, tespit edilen küme merkezleri doğrultusunda gerçekleştirilir. Çok sayıda eşleşme olması durumunda küme merkezi sayısı fazla seçilebilir, ancak az sayıdaki eşleşmeler için yüksek bir sayı seçilmesi hatalı sınıflandırmalara neden olacağından dolayı görüntü mozaikleme işleminin kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Uygulama sonuçları; aşağıdaki parametreler esas alınarak Tablo 1'de görüntülenmiştir.

- A: Anahtar nokta sayısı,
- B: Benzerlik oranı,
- K: Küme merkezi sayısı,
- S: Standart,
- S+: Standart üstü,
- S-: Standart altı.

Standart için belirlenen varsayılan değerler: AS = 0.85, BS = 0.6, KS = 5'tir.



















Zaman ve doğruluk açısından en iyi çözüm aranırken, uygulama alanının kriterlerine göre değerlendirme yapılarak, bu parametreler şekillendirilebilirler. Yüksek çözünürlüklü resimlerde örtüşen sahne büyüklüğü de fazla olunca, anahtar nokta sayısı, benzerlik oranı ve küme merkezi gibi kriterler farklı sonuçlar doğurmamaktadır.

Tablo 1'den elde edilen zaman ve doğruluk oranı kriterlerine göre, en iyi çözümler dizisi ve uygulama çıktıları Tablo 2'de ve Tablo 3'te verilmiştir. Bu farklı parametreler için görüntü mozaikleme Tablo 2'de 2 ile 5 arasında giriş görüntüsü üzerinde; Tablo 3'te ise videonun çerçeveleri arasında uygulanmıştır. Mozaikleme işlemi için geçen süreler tablolarda belirtilmiştir.







Tablo 1. Farklı anahtar nokta sayısı miktarı, benzerlik oranı ve küme merkezi sayısı için karşılaştırmalar
(Comparison of the stitching performance for different number of interest points, the similarity rate and the number of cluster centers)

A	B	K	İki Görüntü		Üç Görüntü		Beş Görüntü	
			Birleşme Süresi (sn)	Doğruluk Oranı	Birleşme Süresi (sn)	Doğruluk Oranı	Birleşme Süresi (sn)	Doğruluk Oranı
AS	BS	KS	60,79	Normal	142,71	Normal	182.70	Normal
AS	BS	KS+	61.82	İyi	144.13	İyi	190.32	İyi
AS	BS	KS-	62.42	Normal	138.78	Normal	180.94	Normal
AS	BS+	KS	60.55	İyi	145.87	İyi	172.12	Kötü
AS	BS+	KS+	61.86	İyi	146.86	İyi	193.58	Kötü
AS	BS+	KS-	60.26	Normal	152.12	Normal	167.75	Çok Kötü
AS	BS-	KS	60.73	Normal	145.87	Normal	182.22	Normal
AS	BS-	KS+	61.77	İyi	141.94	İyi	183.95	Normal
AS	BS-	KS-	60.25	Normal	138.34	Normal	181.04	Kötü
AS+	BS	KS	113.21	İyi	228.95	İyi	285.59	İyi
AS+	BS	KS+	106.93	Çok İyi	245.48	Çok İyi	302.06	Çok İyi
AS+	BS	KS-	110.86	Normal	233.41	Normal	294.76	Normal
AS+	BS+	KS	123.25	Çok İyi	221.63	Çok İyi	410.96	İyi
AS+	BS+	KS+	104.02	Çok İyi	225.75	Çok İyi	424.83	Çok Kötü
AS+	BS+	KS-	106.37	İyi	225.24	İyi	274.56	İyi
AS+	BS-	KS	107.82	Normal	219.52	Normal	278.69	Normal
AS+	BS-	KS+	103.90	İyi	228.98	İyi	283.46	İyi
AS+	BS-	KS-	90.56	Normal	223.32	Normal	282.49	Normal
AS-	BS	KS	45.14	Kötü	104.22	Kötü	131.90	Kötü
AS-	BS	KS+	46.12	Normal	107.29	Normal	135.04	Normal
AS-	BS	KS-	44.85	Normal	99.24	Kötü	132.95	Kötü
AS-	BS+	KS	44.35	Normal	100.43	Normal	132.27	Normal
AS-	BS+	KS+	46.07	İyi	108.19	İyi	127.00	Çok Kötü
AS-	BS+	KS-	44.50	Kötü	99.49	Kötü	124.59	Çok Kötü
AS-	BS-	KS	45.06	Normal	100.58	Normal	133.23	Normal
AS-	BS-	KS+	47.04	Kötü	102.21	Kötü	133.13	Normal
AS-	BS-	KS-	44.32	Kötü	103.20	Normal	138.97	Kötü

Tablo 2. Verilen giriş görüntüleri için optimum parametre değerleri ve bunların tespit süreleri
(Optimum parameter values and calculation time for the input images given)

Görüntüler	Parametre Seçimleri	Birleşme Süresi (sn)	Doğruluk Oranı	Birleşmiş Resim
	AS BS KS+	61.12	İyi	
	AS+ BS KS+	106.00	Çok İyi	
	AS- BS+ KS+	46.57	İyi	
	AS BS KS+	144.09	İyi	
	AS+ BS+ KS	221.84	Çok İyi	
	AS- BS+ KS+	102.46	İyi	
	AS BS KS+	186.28	İyi	
	AS+ BS KS+	288.96	Çok İyi	
	AS- BS+ KS	132.98	Normal	

Tablo 3. Verilen video çerçeveleri için optimum parametre değerleri ve toplam birleştirme süreleri
(Optimum parameter values and total mosaicing time for the frames of input video)

Video	Alınan Çerçeve / Toplam Çerçeve	Parametre Seçimleri	Birleştirilen Çerçeve/ Alınan Çerçeve	Birleşme süresi (sn)	Birleştirilmiş Görüntü
Video.avi 640x480 3.64 MB	51/409	AS+ BS KS	42/51	468.19	
Video.avi 640x480 3.64 MB	51/409	AS+ BS KS+	43/51	512.93	
Video.avi 640x480 3.64 MB	51/409	AS+ BS+ KS	40/51	441.23	
Video.avi 640x480 3.64 MB	51/409	AS BS+ KS+	41/51	501.63	
Video.avi 640x480 3.64 MB	51/409	AS BS+ KS-	41/51	453.88	
Video.avi 640x480 3.64 MB	51/409	AS+ BS- KS+	42/51	500.05	

Tablolarda yer alan deneyler 2 GHz Intel Core 2 CPU, 4 GB RAM ve Windows işletim sistemine sahip bilgisayar ile MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, 2,3 ve 5 görüntü içinde en kaliteli mozaikleme işleminin anahtar nokta sayısının yüksek tutulduğu durumlarda elde edildiği görülmektedir. Bu problemde her 3 görüntü için en iyi mozaikleme kalitesi anahtar nokta sayısı yüksek, benzerlik oranı normal ve küme merkezi sayısı yüksek olduğu durumda elde edilmiştir. Benzerlik oranının artırılması 5 görüntülü problemde kalitenin doğrudan düşmesine sebep olurken, benzerlik oranını artırırken küme sayısını azaltmanın durumu dengelemeye yönelik bir hareket olduğu görülmektedir. Anahtar nokta sayısının düşük, küme merkezi sayısı ve benzerlik oranının normal olduğu durumlarda ise mozaikleme işlemi en kötü sonucu vermektedir. Ayrıca tablodaki birleştirme süreleri incelendiğinde anahtar nokta sayısının, geçen süreyi doğrudan etkilediği görülmektedir. Geçen süreler göz önüne alındığında yöntemin gerçek zamanlı görüntü mozaikleme için uygun olmadığını göstermektedir. Verilen süreler daha iyi bir işlemci veya grafik birimi kullanarak daha da kısaltılabilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Görüntü mozaiklemede amaç, giriş görüntülerinin örtüşen sahnelerini üst üste düşürmektir. Bu çalışmada kendi kameramızdan elde ettiğimiz görüntüler üzerinde görüntü mozaikleme yöntemi uygulanmıştır. Gerçekleştirdiğimiz uygulamalarda MATLAB programı kullanılmıştır. Görüntü mozaikleme işlemindeki özellik tespiti adımı SIFT algoritmasından yararlanılmıştır. Uygulamada giriş görüntü sayıları farklı alınarak çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, görüntü mozaikleme işleminde kullanılan anahtar nokta sayısı, benzerlik oranı ve küme merkezi sayısı parametrelerinin mozaikleme kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesi için genetik algoritmalarla yapılan bir yöntem önerilmiştir.

Denemeler sonucunda anahtar nokta sayısının birleştirme işleminin süresini doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Orta çözünürlükteki kameradan alınan ardışık video çerçeveleri geliştirilen yöntemden yararlanılarak mozaikleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem 40 çerçeve için yaklaşık 8 dakika sürmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda en iyi mozaikleme sonucunu veren parametreler tespit edilmiş ve dolayısıyla mozaiklenen görüntünün kalitesinin artması sağlanmıştır. Gerçek zamanlı olarak kullanımı uygun olmayan yöntem, sinema veya fotoğrafçılık gibi kalitedeki artışın geçen süreden daha önemli olduğu alanlarda kullanılabilir. Birleştirme işleminin süresinin kısaltılmasına yönelik çalışmalar, ileride yapılması öngörülen çalışmalardandır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) tarafından TÜBİTAK 1001 programı kapsamındaki 112E214 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] C. Tastimur, H. Yetis, M. Karakose, E. Akın, "Rail Defect Detection and Classification with Real Time Image Processing Technique", *International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE)*, 5(12), Aralık, 2016.
- [2] Y. Santur, M. Karakose, E. Akın, "Learning Based Experimental Approach for Condition Monitoring Using Laser Cameras in Railway Tracks", *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 4(s1), 1-5, Eylül, 2016.
- [3] D. Ghosh, N. Kaabouch, "A Survey on Image Mosaicing Techniques", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 32, 1-11, 2016.
- [4] M. Lin, G. Xu, X. Ren, K. Xu, "Cylindrical Panoramic Image Stitching Method Based On Multi-cameras", **The 5th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems**, Shenyang, China, 1091-1096, Haziran, 2015.
- [5] G. Divya, C. Chandrasekhar, "Image Mosaicing Technique for Wide Angle Panorama", *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 15, 420-429, 2015.
- [6] A. Elibol, J. Kim, N. Gracias, "Fast Underwater Image Mosaicing through Submapping", *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 1-21, 2016.
- [7] M. S. Patel, N. M. Patel, M. S. Holia, "Feature Based Multi-view Image Registration using SURF", **International Symposium on Advanced Computing and Communication (ISACC)**, Silchar, India, 213-218, Eylül, 2015.
- [8] M. U. Akram, D. Usmani, T. Ahmad, S. Abbas, S. F. Noor, "Seamless Fundus Image Stitching using WLD to Improve Field of View", **5th International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP)**, Beirut, Lübnan, 106-110, Nisan, 2015.
- [9] R. Abraham, P. Simon, "Review on Mosaicing Techniques in Image Processing", **International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies**, Rohtak, India, 63-68, Nisan, 2013.
- [10] C. M. Huang, S. W. Lin, J. H. Chen, "Efficient Image Stitching of Continuous Image Sequence with Image and Seam Selections", *IEEE Sensors Journal*, 15, 5910-5918, 2015.
- [11] S. Lee, Y. Park, D. Lee, "Seamless Image Stitching Using Structure Deformation with HoG Matching", **International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)**, Jeju, South Korea, 933-935, Ekim, 2015.
- [12] Z. Qui, P. Shi, X. Jiang, D. Pan, C. Feng, Y. Sha, "Image Stitching and Ghost Elimination Based on Shape-Preserving Half-Projective Warps", **International Conference on Information and Automation**, Lijiang, China, 2610-2615, Ağustos, 2015.
- [13] A. Laraqui, A. Baataoui, A. Saaidi, A. Jarrar, M. Masrar, K. Satori, "Image mosaicing using voronoi diagram", *Multimedia Tools and Applications*, 1-27, 2016.
- [14] H. Yetiş, M. Baygin, M. Karakose "A New Micro Genetic Algorithm Based Image Stitching Approach for Camera Arrays at Production Lines", **The 5th International Conference on Manufacturing Engineering and Process (ICMEP 2016)**, İstanbul, Mayıs, 2016.

- [15] H. Li, B. S. Manjunath, S. K. Mitra, "Multisensor image fusion using wavelet transform", *Graphical Models Image Process*, 57(3), 235-245, 1995.
- [16] W.W. Kong, Y.J. Lei, Y. Lei, S. Lu, "Image fusion technique based on non-subsampled contour let transform and adaptive unit-fast-linking pulse-coupled neural network", *IET Image Process*, 5(2), 113-121, 2011.
- [17] H. Yetis, M. Karakose, "Adaptive Vision Based Condition Monitoring and Fault Detection Method for Multi Robots at Production Lines in Industrial Systems", *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC)*, 4(1), 271-276, 2016.
- [18] P. M. Jain, V. K. Shandliya, "A Review Paper on Various Approaches for Image Mosaicing", *International Journal of Computational Engineering Research*, 3, 106-109, 2013.
- [19] P. M. Panchall, S. R. Panchal, K. Shah, "A Comparison of SIFT and SURF", *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 1(2), Nisan, 2013.
- [20] H. Joshi, K. Sinha, "A Survey on Image Mosaicing Techniques", *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 2, 365-369, 2013.
- [21] I.K. Sarangi, S. Nayak, **Image Mosaicing of Panoramic Images**, Bachelor Thesis, National Institute of Technology, Rourkela.
- [22] Z. Yu, H. Zhang, B. Guo, L. Zhu, "A Mosaic Method for Large Perspective Distortion Image", **Intemational Conference on Measurement, Information and Control**, 2012.
- [23] J. Qin, J. Yang, B. Xue, F. Bu, "Research on Image Registration and Mosaic Basedon Vector Similarity Matching Principle", **Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design**, 2012.
- [24] S. M. Smith, J. M. Brady, "SUSAN a new approach to low-level image processing", *International Journal of Computer Vision*, 23(1), 45-78, 1997.
- [25] X. Jing, Y. X. Hong, S. X. Xin, M. X. Ying, "Medical Image Mosaic Technology Based on Image Phase Correlation", **Fourth International Conference on Digital Home**, 2012.
- [26] L. Kitchen, A. Rosenfeld, "Gray level corner detection," *Pattern Recognition Letters*, 95-102, 1982.
- [27] V. S. Bind, **Robust Techniques for Feature-based Image Mosaicing**, Thesis of the requirements for the degree of Master, 2013.
- [28] M. R. Jahanshahi, S. F. Masri, G. S. Sukhatme, "Multi-Image Stitching and Scene Reconstruction for Evaluating Defect Evolution in Structures", *Structural Health Monitoring*, 643-657, 2011.
- [29] M. Huang, Z. C. Mu, H. Zeng, H. Huang, "A Novel Approach for Interest Point Detection via Laplacian-of-Bilateral Filter", *Journal of Sensors*, 1(9), Mart, 2015.
- [30] T. Muezzinoglu, F. Colak, M. Karakose, "Görüntü Mozaikleme Algoritması İçin Deneysel Bir Çalışma", *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 17-25, 2014.
- [31] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints", *International Journal of Computer Vision*, 2004.
- [32] V. Aslantaş, E. Bendeş, R. Kurban, A. N. Toprak, "Çoklu Algılayıcılardan Alınan Görüntülerde Eşleştirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması", **Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu**, 110-114, 2011.
- [33] S. Mistry, A. Patel, "Image Stitching using Harris Feature Detection", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3, 1363-1369, 2016.
- [34] A. Levin, A. Zomet, S. Peleg, Y. Weiss, "Seamless Image Stitching in the Gradient Domain", *Computer Vision (ECCV)*, 377-389, 2004.

Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi

Tarık İÇTEN¹, Güngör BAL²

¹Bilişim Sistemleri Bölümü, Bilişim Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

ictentarik@gmail.com, gungorbal@gmail.com

(Geliş/Received:06.02.2017; Kabul/Accepted:03.09.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.290253

Özet—Bu çalışmanın amacı akademik düzeydeki artırılmış gerçeklik çalışmalarının sahip olduğu yazılımsal ve donanımsal özellikleri de kapsayacak şekilde incelemek ve eğilimlerini ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla, 2010-2016 yılları arasında uluslararası ve ulusal 27 dergide yayınlanmış artırılmış gerçeklik ile ilgili 34 akademik çalışma içerik analiz yöntemiyle incelenmiştir. İncelemelerde araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan veri toplama ölçeği ile verilerin toplanması sağlanmıştır. Çalışmaların; yayın yıllarına, yayınlandığı dergi veya kitaplara, artırılmış gerçeklik(AG) işaretçi kullanım türüne, görüntüleme sistem türüne, uzamsal görüntüleme sistemleri dağılımına, taşınabilir görüntüleme sistemleri dağılımına, başa monte edilen görüntüleme sistemleri dağılımına (HMD), kullanıcı ve cihaz etkileşim yöntemine, kullanılan artırılmış gerçeklik araçlarına (fireworks) göre dağılımlarına bakılmıştır. 9 kategoride taraması yapılmış çalışmaların eğilimleri betimsel istatistiksel yöntemlerle çözümlenmiş ve yorumlanmıştır. Elde edilen verilerin analizi sonucunda; 2010-2016 yılları arasında AG alanında yapılan çalışma sayılarının yakın olduğu, en fazla çalışmanın IEEE’de yayınlandığı (%17,6), araştırmacılar tarafından çalışmalarda çoğunlukla işaretçi tabanlı AG teknolojisinin (%82,3) kullanıldığı, video tabanlı sistemlerin (%94,1) optik tabanlı sistemlere (%5,9) göre daha fazla tercih edildiği, kullanıcı-uygulama etkileşiminin ağırlıklı dokunma veya fare ile yapıldığı, ortam oluşturmada ARToolKit aracının (%41,1) daha fazla tercih edildiği belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçların gelecek çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler— Artırılmış gerçeklik, artırılmış gerçeklik ortamı, artırılmış gerçeklik uygulamaları, içerik analizi

A Content Analysis of the Academic Works on the Augmented Reality Technology

Abstract—Purpose of this study was to examine the software and hardware features of the augmented reality works at the academic level. In accordance with the purpose, 34 academic studies on augmented reality published between the years of 2010 and 2016 in 27 national and international journals were analyzed via content analysis method. Data collection scale developed by the researchers provided data collection. Specifically, these studies are investigated in terms of the year of publication; the research journal or book, the AR type usage, the AR imaging systems, the spatial imaging systems, the distribution of portable imaging systems, the Head-mounted imaging systems, the AR Working-user interaction distribution, the distribution of AR tools. The trends of the studies examined in 9 categories have been analyzed and interpreted by descriptive statistical methods. As a result of the research, numbers of AR studies published between 2010 and 2016 are close to each other, most studies were published by the IEEE, a marker-based augmented reality technology has been used in most studies, video-based systems are used more than optical-based systems, many studies achieved with the touch or mouse/keyboard in the application, ARToolKit tools were more preferred. The results obtained by this study will be helpful for directing the future studies.

Keywords— Augmented reality, augmented reality technology, augmented reality applications, content analysis

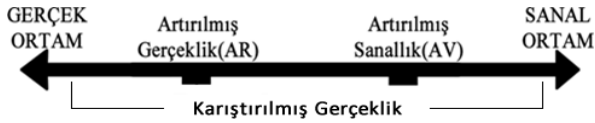
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda bilişim teknolojileri alanında en çok dikkat çeken çalışmalardan birisi de Artırılmış Gerçeklik (AG)

olarak ifade edilen Augmented Reality (AR) teknolojisidir. Artırılmış gerçeklik birçok alanda çalışmanın yapıldığı, gün geçtikçe günlük hayatımızda daha fazla yer almaya başlamış bir teknolojidir [1].

Milgram ve Kishino (1994) [2] Gerçeklik-Sanallık Sürekliliği (şekil 1) adını verdikleri teori düzleminde sanal gerçeklik (virtual reality), artırılmış gerçeklik (augmented reality) ve karıştırılmış gerçeklik (mixed reality) kavramlarını ifade etmişlerdir. Bu kavramlardan sanal gerçeklik, bilgisayar kaynaklı üç boyutlu oyunlarda karşılaşılan, kullanıcının bu ortama girdiğinde dünya ile ilişkisinin tamamen yok olduğu bir ortam olarak söylenebilir. Artırılmış gerçeklik ise gerçek dünya ile bağlantısını devam ettiren, veri ve görüntülerin gerçek dünya görüntülerine eklenebildiği, gerçek ve sanal nesnelerin aynı ortamda birlikte algılanmasını sağlayan bir ortam olarak ifade edilebilir [1].

Artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik kavramları birbiriyle karıştırılabilmektedir [3]. Bilgisayar tarafından oluşturulmuş sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik kavramları benzer öğeleri kullanan ancak gerçek ve sanal dünya arasında birbirinden farklı kavramlar olarak görülmektedir [4]. Sanal gerçeklik sanal dünyayı temel alırken, artırılmış gerçeklik gerçek dünyayı temel almaktadır. Azuma'ya (1997) [5] göre artırılmış gerçeklik sanal ortamların veya sanal gerçekliğin bir varyasyonudur. Artırılmış gerçekliğin gelişim sürecince sanal ve gerçek ilişkisini anlatan birçok ifade kullanılmıştır. Şekil 1'de, sanal ve gerçek ilişkisini gösteren teori düzlemi bu konu hakkındaki tanımları daha da anlaşılır hale getirecektir [1].



Şekil 1. Milgram'ın gerçeklik-sanallık sürekliliği (Milgram's reality-virtuality continuum)

Artırılmış gerçeklik, kullanılan teknoloji dikkate alındığında optik temelli teknolojiler ve video temelli teknolojiler [5] olarak iki grupta değerlendirilebilir. Optik ve video temelli teknolojiler arasındaki temel fark gerçek ve sanal dünyanın bütünleştirilmesiyle oluşan sahnenin görüldüğü yerdir. Optik sistemlerde bütünleştirilmiş sahne gözlük aracılığıyla gerçek dünyada görülürken, video temelli sistemlerde bütünleştirilmiş sahne bilgisayar/tablet/mobil cihaz üzerinde görülmektedir [3].

Görüntüleri ses, grafik, animasyon gibi bilgilerle artırma teknolojisi uzun süredir gündemde olan bir teknolojidir. Bilişim teknolojilerindeki hızlı değişim ve mobil teknolojilerin kullanım oranındaki artış ile birlikte görsel teknoloji içerikleri de önem kazanmaktadır [6]. Bu görsel teknoloji içeriklerinin kullanıcılar tarafından tercih edilmesi bu teknolojinin kullanıldığı donanım cihazlarının da gelişmesine sebep olacaktır. Zamanla AG pazarında PC, akıllı telefon ve tablet gibi teknolojik ürünlerin daha fazla yer alacağı, bu ürünlerin daha etkin bir şekilde günlük hayatımızdaki uygulamalarda kullanılacağı tahmin edilmektedir.

2. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK(AUGMENTED REALITY)

Artırılmış gerçeklik teknolojisi alanında yapılan çalışmaların sayısı son yıllarda artmaktadır. Bu çalışmalar ışığında bu alanda yapılan tanım ve terimler teknolojiye gelişmelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Alanyazın incelendiğinde Milgram ve Kishino (1994) [2] artırılmış gerçekliği "Gerçek dünya nesnelere yerine dijital ortam ürünlerinin kullanıldığı gerçeklik ortamıdır." [7] şeklinde tanımlamıştır. Azuma'ya (1997) [5] göre ise sanal ile gerçeğin eş zamanlı ve içi içe girdiği etkileşimli bir teknoloji ortamlardır. Özarslan (2011) çalışmasında artırılmış gerçekliği; "Bir kamera ya da görüntüleme cihazı aracılığıyla çoğunlukla gömülü bir hedefi okuyup sanal olarak bilgisayarda üretilen görüntü ve gerçek dünyanın görüntüsünün yazılımsal olarak bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır." [8] şeklinde tanımlamaktadır. Gonzato, Arcila ve Crespın'nun (2008) [9] yapmış olduğu tanımlamaya göre gerçek dünya görüntüleri üzerine metin, ses, resim gibi ek bilgilerin eklenmesi ile canlı görüntünün bir parçasıymış hissini verdiren teknolojidir. Sanal ve gerçek dünya arasındaki etkileşimli ortamı artırılmış gerçeklik oluşturur. Bunun sağlanması için artırılmış gerçeklik kullanılır [10-11]. Artırılmış gerçeklik ortamlarında sanal ve gerçek nesnelere birleştirilerek kullanıcılara uyum içerisinde sunulmaktadır. Bir başka ifadeyle artırılmış gerçeklik, gerçek dünyanın etkilenmesine neden olmadan, kullanıcıların gerçek dünya ile etkileşim halindeyken sanal nesnelere de etkileşime girdiği bir sanal gerçeklik uygulamasıdır [12]. Feiner'a göre (2002) [13] çeşitli uygulama programları sayesinde gerçek ile sanalın eş zamanlı olarak gerçek dünya üzerinde birleşmesidir. Van Krevelen & Poelman'nın (2010) [14] yapmış olduğu tanımda ise artırılmış gerçeklik gerçek görüntü ile sanal görüntünün aynı anda zenginleştirilmesi ile oluşan bir yapıdır. Bu özellikleri dikkate alındığında Sırakaya ve Seferoğlu, (2016) [15] artırılmış gerçekliği gerçek dünya ortamına sanal nesnelere eklenmesiyle oluşturulan eş zamanlı karma gerçeklik ortamı olarak tanımlar. Bu tanımlamalardan anlaşılacağı gibi artırılmış gerçekliğin temelini gerçek durum üzerine bindirilen sanal verilerle zenginleştirme [16-17] işlemi olduğu anlaşılmaktadır.

AG'nin tarihsel gelişimi incelendiğinde, ilk olarak Prof. Caudell [18] başa monte edilen bir dijital görüntüleme sistemi kullanımı ile uçaklara elektrik kablolarının düzgün bir şekilde yerleştirilmesi sürecinde AG'yi kullanmıştır. 1993'de L.B Rosenberg (1993) [19] Sanal Aparatlar (Virtual Fixture) adı verilen AG sistemi geliştirmiştir. Bu çalışmada sistemin ürün kullanımındaki etkinliği ve kullanıcıya olan faydaları açıklanmıştır. 1993 yılında ise Feiner, Macintyre ve Seligann (1993) [20] tarafından KARMA (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance) adı verilen bir AG sistem prototipi tanıtımı yapılmıştır. 1997 yılında ise Azuma (1995) AG üzerine yazılım çalışmaları yapmıştır [5]. Bir sene sonra Ramesh Raskar, Greg Welch ve Henry Funchs (1998) [21] tarafından "uzamsal artırılmış gerçeklik" yapısı oluşturulmuştur. 1999'da Dr. Hirokazu

Kato tarafından ARToolKit (Augmented Reality Tool Kit) [22] adı verilen AG tabanlı bir yazılım kütüphanesi geliştirilmiştir. 2000'de ise Bruce Thomas (2000) [23] tarafından ilk mobil AG oyunu "ARQuake" geliştirilmiştir. 2012 yılına gelindiğinde ise Google firması X Laboratuvarında geliştirmiş olduğu ilk AG gözlüğü "Project Glass" cihazını üretmiştir [24]. 2013 yılında otomobil üreticileri (Volkswagen) yeniçağın araç servis asistanı (MARTA-Mobile Augmented Reality Technical Assistance) olarak AG'yi kullanmaya başlamışlardır. 2014 yılına gelindiğinde Google, tüketiciler için giyilebilir özellikli Google Glass cihazının sevkياتına başlamıştır. Microsoft, 2015 yılında HoloLens projesi olan akıllı giyilebilir AG gözlüğünü tanıtmış, 2016 yılında ise geliştirme sürümünü piyasaya çıkarmıştır.

Artırılmış gerçekliğin etkin, ilgi çekici ve görsel zenginliği bu teknolojiyi birçok farklı alan için uygulanabilir kılmıştır. Bu uygulama alanları incelendiğinde, **askeri alanda** [25]; savaş pilotlarına yönelik askeri eğitim uygulaması [26] ile örneklenebilen bu teknoloji savaş pilotlarının kaskına yerleştirilen ve göz hizası seviyesinde kullanılan saydam özellikli ekranlarda kullanılmıştır. Bu ekranlar pilotların görmesi gereken uçuş verilerini anlık olarak göstermektedir. Donanımın saydam yapısı sayesinde pilotların gerçek görüntü ile veri ekran görüntüsünü aynı anda görmesi amaçlanmıştır. Bu alan ve çalışmalardan biri olan **eğitim alanında**; Billingham, Kato ve Poupyrev (2001) [16] tarafından artırılmış gerçeklik öğrenme ortamı tasarlanmıştır. B. E. Shelton ve arkadaşları (2002) [27] dünya ve güneş sistemi arasındaki ilişkiyi AG teknolojisi ile açıklamışlardır. Liarokapis ve arkadaşları (2002) [28] AG tabanlı e-öğrenme sistemi yapmışlardır. **Müze alanında**; D. Wagner ve arkadaşları (2005) [29] tarafından artırılmış gerçeklik üzerine elektronik bir tur rehberi geliştirilmişlerdir. A. Damala ve arkadaşları (2007) [30] sadece ziyaretçileri değil aynı zamanda müze çalışanlarının da kullanabilecekleri profesyonel ve birden fazla multimedia özelliğine sahip bir mobil cihaz gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda **sağlık alanında**; Sielhorst ve arkadaşları (2004) [31] kalp atışı ve nabız gibi gerçek hasta verilerini gösterme işlemini AG ile yapmaya çalışmışlardır. Pisano, (1998) [32] artırılmış gerçeklik kullanarak göğüs kisti uygulaması tasarlamıştır. State, Chen ve arkadaşları (1994) [33] artırılmış gerçeklik temelli ultrasonografi işlemi üzerinde çalışmışlardır. Patel, Vannier ve arkadaşları (1996) [34]; Taylor, Funda ve arkadaşları (1996) [35] kraniyofasiyal cerrahi görselleştirme ve simülasyon sistemleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Diğer çalışma olan **gezi alanında**; Höllner ve Feiner (2004) [36] AG tabanlı tarihi olay üzerine incelemeler yapmışlardır. Vlahakis ve arkadaşları (2001) [37] kültürel miras alanı mobil bilgi sistemi çalışmasında artırılmış gerçeklik teknolojisini kullanmışlardır. Vlahakis ve arkadaşları (2004) [38] tarafından 2004 tarihinde "ArcheoGuide" isimli AG tabanlı bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulama arkeolojik sit alanlarında kişiye özgü rehberlik sunmaktadır. İlk örnek çalışmasında Yunanistan'ın Olimpiya Antik Kenti seçilmiş ve buradaki Antik Stadyum' da yarışan sanal atletler için AG

çalışmasını yapmışlardır. Bir diğer çalışma olan **tasarım alanında**; Collett ve MacDonald (2006) [39] AG ile robot programının geliştiriciye yönelik görselleştirilmesi işlemi yapmıştır. Örnekleri verilen bu artırılmış gerçeklik alanlarına "imalat" [40-41], "doğal afet" [42], "sanat" [43], "reklam" [44], "eğlence" [45], "mühendislik" [46] ve "güvenlik" [47] gibi alanları da ekleyebiliriz.

2.1. Artırılmış Gerçeklik için Kullanılan Çevre Birimleri (Peripherals used for Augmented Reality)

2.1.1. Donanım (Hardware)

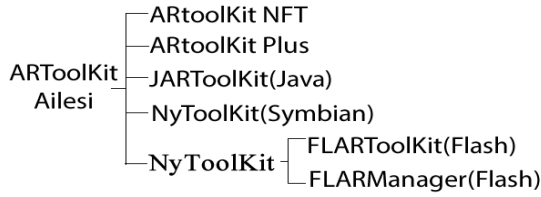
Donanım alt yapısı, kullanıcının AG teknolojisini tam olarak kullanabilmesi ve yazılımın uygulama aşamasında kendisine verilen görevi yapabilmesi için önemlidir. Artırılmış gerçekliğin dış ortamdan gelen veri ve görüntüleri alıp gerçek dünya ile birleştirme işlemi olduğu dikkate alınırsa her AG ortamı için bu verilere ulaşabilmenin yolu bazı donanımların kullanılmasını gerektirmektedir [1]. Alan B. Craig [48], Artırılmış Gerçekliği Anlamak: Kavramlar ve Uygulamalar adlı kitabında AG sistemlerinin donanımsal anlamda gerçekleştirilmesi için algılayıcılar, işlemciler ve görüntüleyiciler olarak üç temel bileşene gerek olduğunu vurgulamaktadır [49]. AG ortamları için ihtiyaç duyulan bileşenler (i) algılayıcılar için GPS ve kamera, (ii) görüntüleyiciler için tablet veya taşınabilir ekran, (iii) işlemciler için masaüstü veya mobil PC olabilir.

2.1.2. Yazılım (Software)

Artırılmış gerçeklik için öncelikle sanal ile gerçek ortamı bir arada yorumlayacak bir ara yüzey gerekmektedir ve çoğunlukla bu ara yüzey yazılım firmaları tarafından kendi tescilledikleri yazılım paketleri olarak piyasaya sürülmektedir [1]. Bu yazılımlar, bazı araçlarla beraber tasarlanmaktadır. Yazılımlar genelde modelleme aracı, işaretçi (ing: marker) üretim aracı, performans artırıcı motor aracı ve mobil uygulama aracı (HTML5, Cross Platform, Native, Hybrid vb.) isimleri altında gelmektedir [50].

AG teknolojisini içeren birçok kütüphane yazılım aracında mevcuttur. Bunlar açık kaynak kodlu ve ticari olmak üzere ikiye ayrılır. ARToolKit [51], açık kaynak kod yazılımda bilinen ve en çok kullanılan yazılım paketi kütüphanesidir. ARToolKit, 1999 yılında Hirokazu Kato tarafından geliştirilmiş, Washington üniversitesi HIT Laboratuvarı (The Human Interface Technology Laboratory) tarafından yayınlanmış, C dilinde yazılmış, farklı dillerde desteği olan ücretsiz bir kütüphanedir. Bu kit kamera ve marker olarak ifade edilen fiziksel bir işaretçinin konumunu gerçek zamanlı hesaplayıp istenen görüntüyü işaretçi üzerinde görüntüleme becerisine sahip bir kütüphane olarak tanımlanabilir [1].

ARToolKit kütüphanesinden türetilmiş farklı dilleri destekleyen yazılım sürümleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. ARToolKit Ailesi
(ARToolKit Family)

Tablo 1, açık kaynak kodlu AG platformlarını yansıtmaktadır.

Tablo 1. Açık kaynak kodlu AG platformları
(Open source AR platforms)

Donanım	İşletim Sistemi	Çalışma Ortamı	ARToolKit Ailesi	3D Motor
Masaüstü	Windows Mac OS	Flash	FLARToolKit	Away 3D Papervision 3D
		Silverlight	SLARToolKit	Silverlight 5 3D Balder
	IOS	Native (Objective C)	IOS için ARToolKit	OpenSceneGraph (OpenGL)
		Native (Java)	ARToolKit/ AndAR	OpenGL
Mobil	Windows Phone	Native(C#)/Mango/Silverlight	SLARToolKit	Native(C#)

AG ortam uygulamaları oluşturabilmek için ARToolKit dışında Augment, Vuforia, Aurasma, Wikitude, Layar gibi yazılım geliştirme araçları/platformları/frameworks (SDK, Software Development Kit) mevcuttur. Bu yazılım araçlarından bazıları serbest dağıtılırken bazıları ticari olarak satılmaktadır. Bu SDK'lar hakkında ayrıntılı bilgi Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. AG uygulama geliştirme platformları
(AR application development platforms)

AR Frameworks	Vuforia	ARToolKit	WikiTude	Layar	Kudan
Şirket	PTC	DAQRI	Wikitude GmbH	BlippAR Group	Kudan Limited
Lisans	Serbest ve Ticari	Serbest	Ticari	Ticari	Ticari
Desteklenen Platformlar	Android, IOS, Unity	Android, IOS, Windows, Linux, Mac OS X, SGI	Android, IOS, Google Glass, Epson Moverio, Vuzix M-100, Optinvent ORA1, PhoneGap, Titanium, Xamarin	IOS, Android, BlackBerry	Android, IOS, Unity

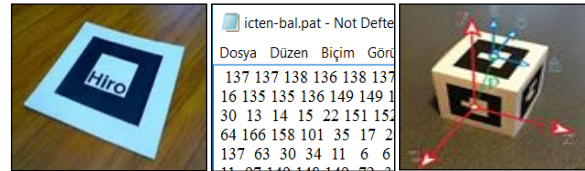
Modelleme aracı, AG teknolojisinin en önemli bileşenlerinden birisidir. Bu araçlar XYZ koordinat

sistemine göre çalışır. Modelleme aracı üç boyutlu modelleme ve karakter tasarlama imkânı sağlayan araçlar mevcuttur ve bu araçlar gerçek hayattaki bir nesnenin bilgisayarda üç boyutlu modellenmesini sağlar. 3D model ve grafik tasarlama programlarına Cinema 4D, Google SketchUp, K-3D, Sweet Home 3D, Maya ve 3DS Max, Blender, Unity3D örnek olarak verilebilir.

Performans artırıcı motor aracı, program içinde modelleme aracıyla yapılmış üç boyutlu nesnelerin(3D API) çalışmasına imkân sağlar. Birçok motor yazılım türü mevcuttur. Papervision3D, Away3D ve Sandy3D, WebGL ve Unity3D en çok bilinen ve yaygın kullanılan 3D motorlarıdır [1].

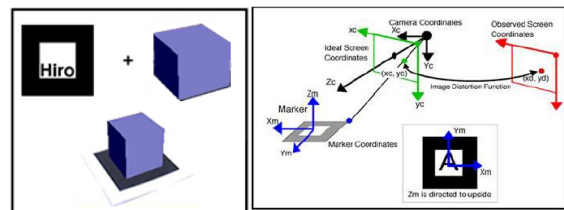
2.1.3. İşaretçi (Marker)

İşaretçiler sanal ile gerçek ortamı birleştirmek, aralarında etkileşimi sağlamak için kullanılan önemli bir AG aracıdır. Şekil 3'görüldüğü gibi işaretçiler kamera tarafından daha iyi algılanmaları için beyaz kenarlıklı ile çevrelenmiş siyah zemin içine beyaz ve siyah desenler ile resmedilmektedir. İşaretçi üretim programları işaretçi desenindeki her bir pikselin renk tonunu ifade eden sayısal bir değer (0-255 arasında renk kodları) ile pat dosyalarında saklanmaktadır. Günümüzdeki gelişmeler gerçek dünyadaki bir nesnenin (gerçek bir bina, insan yüzü, duvardaki resim) işaretçi olarak kullanılmasına imkân vermektedir.

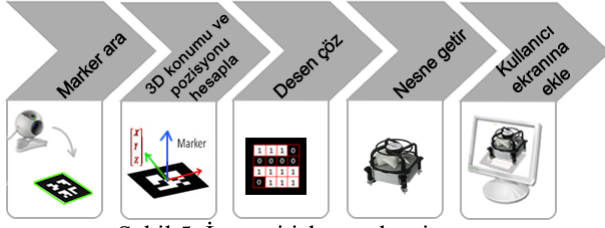


Şekil 3. ARToolKit işaretçi
(ARToolKit marker)

ARToolKit tipi işaretçiler 16x16 veya 32x32 boyutunda olabilir. Bu tip işaretçiler kare biçiminde olmalı ve kamera tarafından alınan görüntünün yüzde 50'sinin sistemde kayıtlı olan "pat" uzantılı dosyalardaki sayısal değerlerle eşleşmesi gerekmektedir. Orta kalite düzeyindeki bir kamera ARToolKit tipi işaretçilerden saniyede 25 kare görüntü almakta, alınan görüntüye göre gerekli nesne 40 milisaniyede işaretçiye yüklenmektedir. Bu bağlamda işaretçi boyutundaki değişim verilen işlem sürelerinin de değişmesine sebep olacaktır. Şekil 4'de işaretçi ve kamera koordinatları arasındaki ilişki, Şekil 5'de ise işaretçi tanıma algoritması gösterilmiştir.



Şekil 4. İşaretçi ve kamera koordinatları arasındaki ilişki
(Relation between marker and camera coordinates)



Şekil 5. İşaretçi işleme algoritması
(Marker processing algorithm)

3. AMAÇ VE ARAŞTIRMA SORULARI (PURPOSE AND RESEARCH QUESTIONS)

Artırılmış gerçeklik alanında yapılan çalışmaları inceleyen araştırmacılar az da olsa mevcuttur. Bunlardan Türkiye adresli araştırmalardan birkaç örnek şu şekildedir; Korucu ve arkadaşları (2016) [52] 2007-2016 tarihleri arasında ülkemizde eğitim alanı için oluşturulmuş artırılmış gerçeklik teknolojisini konu alan 33 akademik çalışmayı 8 kategoride içerik analiz yöntemi ile incelemişlerdir. Arslan ve Elibol (2015) [53] mobil cihazlar için geliştirilmiş Google Play’de ilk listelenen 100 adet eğitsel artırılmış gerçeklik uygulamasını çeşitli açıdan incelemişlerdir. Yılmaz ve Batdı (2016) [54] meta-analiz boyutu kapsamında, artırılmış gerçeklik uygulamalarının akademik başarı üzerindeki etki büyüklüğünü belirlenmesi amacıyla ulusal ve uluslararası alandaki 12 çalışmanın verilerini analiz etmişlerdir.

İlgili alanyazın incelendiğinde, AG teknolojisini içeren örnek çalışmaların genel olarak eğitim kazanımları üzerine odaklandığı anlaşılmaktadır. Buna karşın daha geniş AG uygulama alanının seçilmesi, bu teknoloji ile yapılmış uygulamalarının sahip oldukları ortak ya da farklı özellikler açısından incelenmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi gelecek çalışmalar için daha kullanışlı, nitelikli ve kapsamlı sonuçların elde edilmesini sağlayacağı düşünülmektedir. Bütün bunlar dikkate alındığında bu çalışma; 2010-2016 yılları arasında ulusal ve uluslararası dergilerde yayınlanmış AG teknolojisi alanındaki akademik çalışmaları örnekleme yöntemine göre incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmıştır:

1. Çalışmaların yayım yılına göre dağılımı nasıldır?
2. Çalışmaların yayımlandıkları dergilere göre dağılımı nasıldır?
3. Çalışmaların AG türü dağılımı nasıldır?
4. Çalışmaların görüntüleme sistemleri dağılımı nasıldır?
5. Çalışmaların uzamsal görüntüleme sistemleri dağılımı nasıldır?
6. Çalışmaların taşınabilir görüntüleme sistemleri dağılımı nasıldır?
7. Çalışmaların AG özelliğinin üzerinde çalıştığı başa monte edilen görüntüleme sistemleri cihaz ve yıl dağılımı nasıldır?
8. Çalışmalarda çalışma ile kullanıcı arasında kullanılan etkileşim yöntemleri ve yıl dağılımı nasıldır?

9. Çalışmalarda kullanılan AG Araçları (AR Frameworks) dağılımı nasıldır?

4. YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada, artırılmış gerçeklik teknolojisine sahip ulusal ve uluslararası akademik çalışmaların sahip olduğu özellikleri incelemek için nitel araştırma türlerinden içerik analizi modeli kullanılmıştır. İçerik analizi, okuyucuların anlayacağı bir dilde hazırlanan [55], birbirine benzeyen verileri belirli kavramlar ve temalar çerçevesinde bir araya getirmek [56], yinelenbilir [57], sözel, yazılı ve diğer materyallerin nesnel ve sistematik bir şekilde incelenmesine olanak tanıyan bilimsel bir yaklaşımdır [58]. Araştırma süreci ve kullanılan yöntemler ayrıntılı bir şekilde aşağıda açıklanmaktadır.

4.1. Örneklem (Sampling)

Araştırmanın evrenini, artırılmış gerçeklik teknolojisine sahip çalışmalar oluşturmaktadır. Çalışmada örnekleme yöntemi olarak “amaçlı örnekleme” yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacı örnekleme için hangi birimlerin seçileceğine kendisi karar verir. Araştırmacının uygun gördüğü kümeler, gruplar, birimler araştırmacının amacına da uygun olarak belirlenir. Bu nedenle, bu tip örneklemeğe yargısal örnekleme de denilir [59]. Araştırmanın örneklemini ise, 2010-2016 yılları arasında yayınlanan ve içinde artırılmış gerçeklik teknolojisi kavramı geçen 34 akademik çalışma oluşturmaktadır. Örneklem işlemi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada artırılmış gerçeklik ile ilgili yapılan çalışmalara ulaşabilmek için zaman filtresi (2010-2016) ile beraber “artırılmış gerçeklik, augmented reality” anahtar kelimelerini kullanarak ULAKBİM, Google Scholar, Science Direct, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi yayın dizinleri ile DergiPark taranmıştır. İkinci aşamada tarama sonucunda erişilebilen çalışmaların erişim izinlerine, kapsamına, araştırmacının amacına ve alanına ulaşabilme ölçütlerine göre taranarak 105 çalışma belirlenmiştir. Üçüncü aşamada belirlenen çalışmalarda artırılmış gerçeklik teknolojisine odaklanmayan çalışmalar çıkartılmış ve bu sayı 34 akademik çalışmaya düşürülmüştür.

4.2. Veri Toplama Aracı (Data Collection Instrument)

Bu çalışmada veri toplama aracı olarak araştırmacılar tarafından geliştirilen ölçek kullanılmıştır. Çalışmada yer alan yararlı verilerin elde edilmesi, düzenlenmesi ve tekrarlı verilerden arındırılması için taslak ölçek oluşturulmuş, devamında araştırmacıların görüşleri ve alan uzmanı tavsiyesi doğrultusunda bu ölçek içinde yer alacak alanlara ekleme ve çıkartmalar yapılarak son hali verilmiştir. Araştırmacılar tarafından veri toplama aracı olarak kullanılacak ölçek ile çalışmaya dâhil edilen araştırmacıların bilgileri toplanmıştır. Bu bilgiler araştırmanın; yayım yılı, yayım yeri(makale/kitap/tez), AG türü(işaretçi kullanım tipi), görüntüleme sistem türü(uzamsal/optik/taşınabilir), kullanıcı ve cihaz

etkileşim şekli ve kullanılan AG aracı (fireworks) ile ilgili bilgilerdir.

4.3. Verilerin Analizi (Analysis of the Data)

İçerik analiz yöntemi kullanılarak incelenen çalışmalardan elde edilen veriler betimsel istatistikî yöntemler (yüzde ve frekans) kullanılarak çözümlenmiştir. Örnekleme oluşturan 34 çalışmanın ölçek verileri, bilgisayar ortamında Microsoft Excel programına yüklenmiştir. Yükleme esnasında oluşabilecek yanlış veri girişlerini önlemek amacıyla veri kontrol denetimleri yapılmıştır. Veriler Excel programına yüklendikten sonra araştırma soruları ışığında istatistikî hesaplamalar yapılmış, çıkan sayısal veri sonuçlarının daha anlaşılır bir şekilde ifade edilebilmesi için çizelgeler ve grafikler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar tartışma, sonuç ve öneriler bölümünde yorumlanmıştır.

4.4. Geçerlik ve Güvenirlik (Validity and Reliability)

Araştırmacılar seçilen çalışmaların güvenilirliğini ve geçerliliğini sağlamak amacıyla araştırma kapsamında bulunan çalışmaları paylaşmışlardır. Sınıflandırma sürecinin ilk aşamasında her araştırmacı bağımsız bir şekilde kendi araştırma çalışmasını incelemiştir. İkinci aşamada araştırma makaleleri araştırmacılar tarafından değiştirilerek ikinci bir incelemeye tabi tutulmuştur. Üçüncü aşamada araştırmacılar tarafından elde edilen verilerin doğruluğu karşılaştırılarak yorum farkından kaynaklı veriler belirlenmiştir. Kontrol sırasındaki yorum farklılıkları araştırmacılar tarafından tartışılmış ve bazı durumlarda bu alanda çalışması olan uzman görüşü alınarak giderilmeye çalışılmıştır. Son aşamada araştırmacılarından biri elde edilen verileri veri tabanına girmiş, diğer araştırmacı girilen verilerin doğruluğunu tekrar inceleyerek veri giriş doğrulamasını sağlamıştır. Bu şekilde iç, dış geçerliliği ve güvenilirliği sağlanmaya çalışılmıştır.

5. BULGULAR (FINDINGS)

İçerik analiz yöntemi kullanılarak incelenen çalışmalardan elde edilen veriler 9 adet araştırma sorusu temel alınarak analiz edilmiştir. Bu bölümde, analizler sonucunda elde edilen bulgular yüzde ve frekans dağılımları dikkate alınarak aşağıda sunulmuştur.

5.1. AG Çalışmaların Yayın Yılına Göre Dağılımı (The distribution of AR studies by publication year)

Çalışma kapsamında incelenen 34 çalışmanın yayım yılına göre dağılımı Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. AG çalışmaların yayım yılına göre dağılımı
(The distribution of AR studies by publication year)

Yayın Yılı	Çalışma Sayısı (N)	Yüzde (%)
2010	3	8,8
2011	2	5,9
2012	7	20,6
2013	7	20,6
2014	5	14,7
2015	4	11,8
2016	6	17,6
Toplam	34	100

N=Çalışma sayısı

Tablo 3 incelendiğinde, 2010-2014 yılları arasında her yıla en az 2 çalışmanın yapıldığı, en çok çalışmanın % 20,6 ile 2012 ve 2013, en az çalışmanın % 5,9 ile 2011 yılında yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmaların % 55,9'su 2012-2014 yılları arasında yapılmış olduğu Tablo 3'de gözlemlenmektedir.

5.2. AG Konulu Çalışmaların Dergilere Göre Dağılımı (The distribution of AR studies by publication magazine)

Araştırmaya dâhil edilen çalışmalar yayımlandıkları dergi veya kitaplara göre analiz edilerek Tablo 4'deki veriler elde edilmiştir.

Tablo 4. AG çalışmaların yayımlandıkları dergilere göre dağılımı
(The distribution of AR studies by publication journals)

Yayımlandığı Dergi/Kitap	N	%		N	%
AKÜ FEMÜBİD	1	2.9	ijca	1	2.9
Harran Univ. JOofEng.	1	2.9	IJCSCS	1	2.9
Akademik Bilişim	1	2.9	ijimai	1	2.9
ASEE	1	2.9	IRJET	1	2.9
BJET	1	2.9	JITE	1	2.9
CACIC	1	2.9	JITTE	1	2.9
Computers & Education	2	5.9	Jret	1	2.9
DAAAM	1	2.9	Mlearn2016	1	2.9
ICCCBE	1	2.9	Pajes	1	2.9
icdvrat	1	2.9	Procedia	2	5.9
IEEE	6	17.6	Scholarship at U Windsor	1	2.9
IJAIED	1	2.9	Sensors	1	2.9
IJARCCCE	1	2.9	Tojet	1	2.9
ijarce	1	2.9	Toplam	34	100

N=Çalışma sayısı

Araştırmada 34 çalışmanın 27 farklı dergi veya kitapta yayınlanmış olduğu görülmektedir. Tablo 4 detaylı olarak incelendiğinde AG konulu çalışmaların 2010-2016 yılları arasında en çok (N=6, %=17,6) IEEE dergisinde yayınlandığı görülmektedir. Bunun ardından 2'şer çalışma ile Computer&Education ve Procedia dergisi takip etmektedir. Diğer 24 dergi veya kitapta 1'er kez çalışma yayınlandığı anlaşılmaktadır.

5.3. AG Türü Dağılımı (The distribution of AR type)

Alanyazın incelendiğinde Cheng ve Tsai (2013) [60], Sırakaya ve Seferoğlu (2016) [15] ve ibili (2013) [61] tarafından yapılmış olan çalışmalarda AG sistemleri resim tabanlı (image-based) ve konum tabanlı (location-based) olmak üzere iki kategoride toplanmaktadır. Bu çalışmalarda resim tabanlı AG sistemleri de 3 boyutlu modelin görüleceği yere göre işaretçi tabanlı sistemler (İTAG) ve işaretçi tabanlı olmayan sistemler (İTOAG) olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca Esengün (2016) [62] yüksek lisans tezinde AG uygulamalarının çoğunlukla "geo-location based AR" ve "marker-based AR" şeklinde olduğunu ifade etmiştir. Cherchi ve ark. (2014) [63] tarafından yapılan çalışmada ise AG türü "geo-localized AR" ve "ARTags" şeklinde ifade edilmektedir. Artırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirilirken 3 farklı AG uygulama işleminden söz edilebilir [64]. Uluyol (2016) [6] çalışmasında bunları; (1) işaretleyici tabanlı, (2) işaretleyicisiz tabanlı ve (3) konum tabanlı olarak belirtmektedir. Diğer taraftan bazı çalışmalarda AG türü; (1) işaretçi tabanlı (marker based), (2) işaretleyicisiz tabanlı (markerless based), (2.1) görü-tabanlı (vision based), (2.2) konum tabanlı (location based) olarak da sınıflandırılmaktadır.

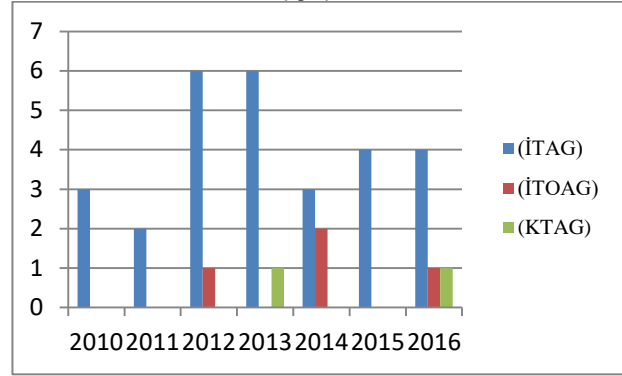
Bu çalışmada AG türü resim(görsel) tabanlı ve konum tabanlı AG olarak alınmıştır. Konum tabanlı ve resim tabanlı sistemler açıklanmak istenirse; konum tabanlı AG, küresel konumlama (GPS), Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN) veya Wi-Fi konumlama sistemleri tarafından belirlenen mobil cihazların konum verilerini kullanmaktadır. Resim (görüntü) tabanlı AG (ses, resim, el hareketi, 3D model) ise ortamdaki nesnelere işaret referansı olarak kullanılmaktadır. Bu nesne ortamdaki resim (İTAG yapısına) veya ses/el hareketi (İTOAG yapısına) olabilir.

Tablo 5 artırılmış gerçeklik çalışmalarında kullanılan izleme yöntemlerinin sayılarının yıllara göre dağılımını, Şekil 6 ise bu dağılımın grafiğini yansıtmaktadır.

Tablo 5. AG türü kullanımının yıllara göre dağılımı
(The distribution of AR type usage by years)

Yıl	Resim Tabanlı AG		Konum Tabanlı
	İşaretçi Tabanlı	İşaretçi Tabanlı Olmayan	
	(İTAG)	(İTOAG)	(KTAG)
2010	3	0	0
2011	2	0	0
2012	6	1	0
2013	6	0	1
2014	3	2	0
2015	4	0	0
2016	4	1	1
Toplam	28	4	2

İTAG: İşaretçi tabanlı artırılmış gerçeklik (Marker based),
İTOAG: İşaretçi tabanlı olmayan artırılmış gerçeklik (Marker-less based)
KTAG: Konum tabanlı artırılmış gerçeklik (Location based)



Şekil 6. AG türü kullanımının yıllara göre dağılımı
(The distribution of AR type usage by years)

Şekil 6'ya bakıldığında, İTAG türünde en çok çalışmanın yapıldığı 2012 (N=6) ve 2013 (N=6) yılları olduğu, en az çalışmanın 2011 (N=2) yılı olduğu görülmektedir. İTOAG türünden bakıldığında; 2014 yılı iki yayın ile en çok yayın yılı olduğu, 2012 ve 2016 yılları 2'şer çalışmanın olduğu, diğer yıllarda yapılan bir çalışmanın bulunmadığı görülmektedir. 2013 ve 2016 tarihlerinde KTAG türünden sadece 1'er yayın yapıldığı anlaşılmaktadır. Şekil 6'dan 2010-2016 yılları arasındaki her yıl en az 2'şer İTAG çalışmasının olduğu, buna karşın İTOAG ve KTAG çalışmalarının 2010, 2011 ve 2015 yıllarında bulunmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 6 genel olarak değerlendirildiğinde, çalışmalarda çoğunlukla İTAG (N=28) türünün kullanıldığı ve bunu sırasıyla İTOAG (N=4) ve KTAG (N=2) türlerinin takip ettiği görülmektedir.

5.4. AG Çalışmaların Üzerinde Çalıştığı Cihaz Teknolojisi Dağılımı (The distribution of AR imaging systems)

AG sistem yapısının oluşturulmasındaki temel işlem sanal ile gerçeğin nasıl birleştirileceğidir [65]. Funchs & Ackerman (1999)[65] ve Azuma (1997) [5] tarafından

yapılan çalışmalarda görüntüleme sistemleri optik tabanlı sistemler, video tabanlı sistemler ve monitör tabanlı sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu inceleme çalışmasında günümüzdeki masaüstü veya taşınabilir bilgisayarların (cihaz) fiziksel boyutlarındaki küçülme, dâhili ve harici görüntüleme sistemlerindeki gelişme, artırılmış gerçeklik gözlüğü (VRBox) içinde mini bilgisayarların göz hizasında kullanılması gibi durumlardan dolayı monitör tabanlı sistemler video tabanlı sistemler altında toplanmıştır.

Tablo 6'da uzamsal görüntü sistemlerinin ve taşınabilir görüntü sistemlerinin oluşturduğu video tabanlı sistemler ve başa monte edilen görüntüleme sistemi olan optik tabanlı sistemler olmak üzere iki kategoriye ayrılmış görüntüleme sistemlerinin tablo hali görülmektedir.

Tablo 6. AG görüntüleme sistemleri
(AR imaging systems)

Üzerinde Çalıştığı Cihaz (Görüntüleme Sistemleri)		Yıllar						Toplam		
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	N	%
Video Tabanlı Sistemler	Uzamsal Görüntüleme Sistemleri	3	2	6	5	2	3	2	23	67.6
	Taşınabilir Görüntüleme Sistemleri	-	-	1	2	2	1	3	9	26.5
Optik Tabanlı Sistemler	Başta Monte Edilen Görüntüleme Sistemleri	-	-	-	-	1	-	1	2	5.9
Toplam		3	2	6	5	2	3	2	34	100

Tablo 6, incelenen çalışmalarda kullanılan AG görüntüleme sistemi kategorilerinin yıllara göre değişimini yansıtmaktadır. Tablo göz önünde bulundurulduğunda en çok çalışmanın (N=23, %67,6) uzamsal görüntüleme sistemleri üzerine yapıldığı görülmektedir. İkinci sırada (N=9, %36,5) taşınabilir görüntüleme sistemleri yer almaktadır. Bunu üçüncü ve son sırada olan, en az kullanılan (N=2, % 5,9) başa monte edilen görüntüleme sistemleri takip etmektedir.

5.5. AG Çalışmaların Üzerinde Çalıştığı Uzamsal Görüntüleme Sistemleri Dağılımı (The distribution of Spatial imaging systems)

Tablo 7, farklı cihazlar ile oluşturulmuş uzamsal görüntüleme sistemlerinin yıllara göre değişimini

yansıtmaktadır. Tabloya bakıldığında, uzamsal görüntüleme yapısının her birinde PC (kişisel bilgisayar) donanım cihazının yer aldığı görülmektedir. Tablo derinlemesine incelendiğinde uzamsal özellikli çalışmaların büyük bir kısmında PC ve WebCam (N=16, %69,6) ikilisinin kullanılmış olduğu anlaşılmaktadır. Uzamsal özellikli 23 bilimsel çalışmanın içinde sadece PC ve WebCam ikilisinin kullanıldığı 16 yayının olduğu, diğer uzamsal özellikli yapıların 7 yayını ile temsil edildiği görülmektedir. Bu sayısal değerler PC ve WebCam yapısının araştırmacılar tarafından daha çok tercih edildiği sonucuna ortaya çıkartmaktadır. Tablodaki diğer veriler incelendiğinde kalan 7 uzamsal özellikli yapının farklı yıllarda 1'er yayını ile temsil edildiği anlaşılmaktadır.

Tablo 7. Uzamsal görüntüleme sistemleri
(Spatial imaging systems)

Uzamsal Görüntüleme Sistemleri	Yıllar						Toplam		
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	N	%
PC+HMD+WebCam	1	-	-	-	-	-	-	1	4.3
PC+WebCam	2	1	5	4	1	2	1	16	69.6
PC+HMD+Kamera	-	1	-	-	-	-	-	1	4.3
PC+Proj.+Kamera	-	-	1	-	-	-	-	1	4.3
PC+Proj.+WebCam	-	-	-	1	-	-	-	1	4.3
PC+Proj+HMD+Kamera	-	-	-	-	1	-	-	1	4.3
PC+HMD	-	-	-	-	-	1	-	1	4.3
PC+Kamera	-	-	-	-	-	-	1	1	4.3
Toplam	3	2	6	5	2	3	2	23	100

Proj=Projeksiyon, HMD=Head-Mounted Display

5.6. AG Çalışmaların Üzerinde Çalıştığı Taşınabilir Görüntüleme Sistemleri Dağılımı (The distribution of Portable imaging systems)

Tablo 8, taşınabilir görüntüleme sistemlerinden tablet ve telefon sayılarının yıllara göre dağılımını yansıtmaktadır. Grafik incelendiğinde tablet (N=7, %77,89) kullanımının telefon (n=2, %22,2) kullanımına göre araştırmacılar tarafından daha fazla kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 8. Taşınabilir görüntüleme sistemleri
(Portable imaging systems)

Taşınabilir Görüntüleme Sistemleri	Yıllar							Toplam	
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	N	%
Taşınabilir Cihaz (Tablet)	-	-	1	1	2	1	2	7	77.8
Mobile Cihaz (Telefon)	-	-	-	1	-	-	1	2	22.2
Toplam	0	0	1	2	2	1	3	9	100

5.7. AG Özelliğinin Üzerinde Çalıştığı Başa Monte Edilen Görüntüleme Sistemleri Dağılımı (The distribution of ead-mounted imaging systems)

Tablo 9'da incelenen 34 çalışmanın sadece 2 çalışmasında optik tabanlı sistem(3D Glass) kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 9. Başa monte edilen görüntüleme sistemleri
(Head-mounted imaging systems by years)

Basa monte edilen görüntüleme sistemleri	Yıllar							Toplam	
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	N	%
3D Glass	-	-	-	-	1	-	1	2	100
Toplam	0	0	0	0	1	0	1	2	100

5.8. AG Çalışması ile Kullanıcı Arasında Etkileşim Yöntemlerinin Yıllara Göre Dağılımı (AR Working-user interaction distribution by years)

Tablo 10, AG çalışmalarının üzerinde çalıştığı cihaz ile kullanıcı arası etkileşim yöntemlerinin yıllara göre dağılımını yansıtmaktadır. Tablo incelendiğinde, Dokunma (N=10, %25) ve Fare/Klavye (N=10, %25) etkileşiminin AG çalışmalarında en fazla kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bunu Ek bir İşaretleyici (N=7, %17,5), Belirtilmemiş (N=6, %15), Ek donanım (N=4, %10), Hareket algılama (N=2, %5) yöntemlerinin takip ettiği görülmektedir. Ez az kullanılan yöntemin ise fiziksel bir buton ile sağlanan etkileşim olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 10. AG Çalışma-Kullanıcı etkileşim dağılımı
(AR Working-user interaction distribution by years)

Uygulamanın Üzerinde Çalıştığı Cihaz ile Kullanıcı Arası Etkileşim Yöntemi	Yıllar							Toplam	
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	N	%
Dokunma	-	-	1	2	3	1	3	10	25
Ek Bir işaretçi	1	-	1	2	-	3	-	7	17.5
Fare/ Klavye	-	1	3	4	-	1	1	10	25
Buton (3D Gözlük)	-	-	-	-	1	-	-	1	2.5
Ek Donanım	-	-	3*	-	-	-	1**	4	10
Hareket Algılama (Gesture-Open CV)	-	-	-	-	2	-	-	2	5
Kullanılmamış (Belirtilmemiş)	2	1	1	-	-	-	2	6	15

* Arduino / Eldiven / Ses Alıcı, ** Sensör

5.9. AG Çalışmasında Kullanılan AG Araç Dağılımı (The distribution of AR Frameworks)

Tablo 11. AG Araçları dağılımı
(The distribution of AR Tools)

AG Araçları	Toplam	
	N	%
ARToolkit(12), FLARToolkit(1), FLARManager(1) vb.	14	41,13
osgART	2	5.9
ARTag	1	2.9
Droid AR	1	2.9
Aurasma	2	5.9
OpenCV + computer vision (CV)	1	2.9
Ogre 3D framework+ computer vision (CV)	1	2.9
ART capture	1	2.9
Popcode	1	2.9
in-house AR software library	2	5.9
Location Global Positioning System (GPS)	2	5.9
Google Glass Glass Development Kit(GDK)	1	2.9
Vuforia	3	8.8
Belirtilmemiş	2	5.9
Toplam	34	100

Tablo 11, incelenen AG çalışmalarında kullanılan AG araç dağılımlarını yansıtmaktadır. Tablo incelendiğinde AG araç seçiminde büyük oranda açık kaynak kod tabanlı ARToolKit ve ailesine ait SDK paketlerinin (N=14, %41,13) kullanıldığı, bunu 3 yayın ile Vuforia SDK

paketi, 2 yayın ile Aurasma, in-house AR Software Library, GPS, ARToolKit ve OpenSceneGraph temelli osgART paketlerinin takip ettiği anlaşılmaktadır. Diğer SDK paketlerinin her biri 1'er yayında kullanılmıştır. İncelenen 34 çalışma içinde AG özelliğinin ne şekilde verildiği belirtilmemiş (N=2, %5,9) yayın sayısı 2 olarak görülmektedir.

6. İNCELENEN AKADEMİK ÇALIŞMALAR İÇERİSİNDE DİKKAT ÇEKEN ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARI (AUGMENTED REALITY APPLICATIONS IN ACADEMIC STUDIES)

Bu kısımda, incelenen akademik çalışmalar içerisinde dikkat çeken AG uygulamaları seçilmiş ve bu uygulamaların özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, burada yer verilen akademik çalışmalardan bazıları İçten ve Bal'ın (2017) [1] makalesinde daha ayrıntılı bir şekilde ele alınıp incelenmiştir.

İnsan Bilimi alanında; Mau-Tsuen Yang ve Wan-Che Liao (2014) [66] VECAR (Virtual English Classroom AR) isimli işaretçi tabanlı olmayan AG (İTOAG) yapısına sahip bir öneri çalışması yapmışlardır. Çalışmada işaretçi yerine açık kaynak kod tabanlı OpenCV Kütüphanesinin kameradan aldığı el hareketi kullanılmıştır. Kamera tarafından alınan serbest el işaretinin durumu, konumu ve hareketi ekranda gösterilecek üç boyutlu (3D) nesnenin gösterilmesi, dönmesi ve boyut değiştirmesi gibi işlemlerin yapılmasını sağlamaktadır. Çalışmada PC, HMD, kamera ve projeksiyon gibi donanımların kullanıldığı görülmektedir. Bu uygulamaya ait ekran görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir.



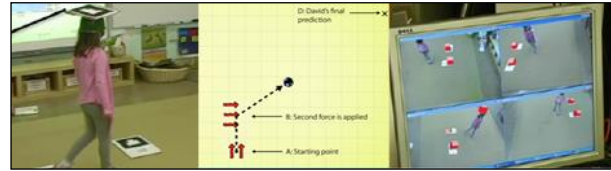
Şekil 7. VECAR

Doğal Afet ve Nükleer Kazalardan Korunma alanında; Tsai, Liu ve Yau (2013) [67] tarafından konum (lokasyon) tabanlı AG teknolojisine sahip bir uygulama geliştirilmiştir. Çalışma deprem, doğal afet, terör ve nükleer kaza gibi durumlar da kullanıcıları en kısa zamanda en yakın sığınağa yönlendirmeyi amaçlamaktadır. Uygulama internete bağlı GPS bağlantılı akıllı bir telefon ile çalışmakta, kullanıcı ile olan etkileşimini dokunma, bilgilendirme işlemi metin ve görsel resimler ile sağlamaktadır. Bu uygulamaya ait ekran görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. AR-Based

Fen Bilimleri alanında; N. Enyedy ve ark. (2012) [68] fizik dersine yönelik AG ve hareket yakalama teknolojisine sahip LLP (The Learning Physics Through Play Project) programı yapmışlardır. Şekil 9'da görüleceği gibi uygulama öğrenci hareketlerinin yakalanabilmesi için sınıf tavanına takılmış projeksiyon cihazı, hareketlerin öğrenci tarafından izlenebilmesi için AG video görüntü ekranı, yapılan işlemleri sanal olarak gösteren projeksiyon perdesi, PC ve öğrenci tarafından taşınan işaretçi gibi donanımlardan oluşmaktadır. Çalışma sonucunda AG teknolojisine etkili bir öğrenme aracı olduğu belirtilmiştir.



Şekil 9. Uygulamadan bir görüntü
(An image from the application)

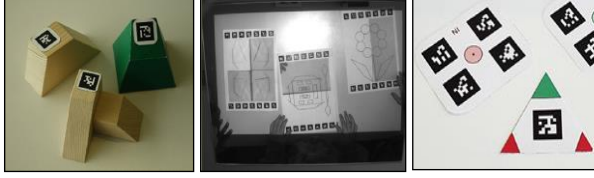
Eğitim alanında; Pérez-López ve Contero (2013) [69] tarafından sindirim ve dolaşım sistemi organlarının 3 boyutlu (3D) görüntüler şeklinde kullanıcı ekranında gösterilmesini sağlayan bir yazılım geliştirilmiştir. İşaret tabanlı AG teknolojisine kullanıldığı çalışmada uzamsal görüntüleme sistemi olarak PC ve WebCam cihazı, etkileşim yöntemi olarak fare ve klavye kullanılmıştır. Uygulama ekranı üzerinde bulunan butonun tıklanması ile o butona ait 3 boyutlu (3D) görüntü kare işaretçi üzerinde, açıklayıcı metin ise ekranın altında gösterilmektedir. Şekil 10'da ekran görüntüleri verilen sistemin oluşturulmasında Conitec Gamestudio Pro A7 programı kullanılmıştır



Şekil 10. Uygulamadan bir görüntü
(An image from the application)

Eğitim alanında; S. Cuendet, Q. Bonnard, S. Do-Lenh ve P. Dillenbourg (2013) [70] tarafından TinkerLamp, Tapacarp ve Kaleidoscope olarak isimlendirilmiş, sınıf ortamında kullanılabilen AG özelliğine sahip üç öğrenme ortamı için üç donanım sistemi tasarlanmıştır. Her üç öğrenme ortamı ARTag işaretçi yapısına benzer referans işaretçi kullanılmaktadır. PC, WebCam, projeksiyon,

kartlar, bloklar, etkinlik kitapçığı, kâğıt ve çizim araçları gibi materyallerin kullanıldığı çalışma kullanıcıya çizim derslerindeki 2 boyutlu (2D) görüntülerin 3 boyutlu (3D) görüntüler şeklinde gösterilmesini sağlamaktadır. Şekil 11'de çalışmanın donanım, materyal ve işaretçilerin görselleri verilmiştir.



Şekil 11. TinkerLamp, Tapacarp, Kaleidoscope

Eğitim alanında; Abdüsselam ve Karal (2012) [71], fizik dersindeki “Manyetizma” konusunun öğretimi için artırılmış gerçeklik ortamı tasarlamışlar ve bu ortam kullanımının öğrenci akademik başarı üzerine etkisini incelemeye çalışmışlardır. 3 deney grubundan biri olan AG deney grubu için geliştirilen cihaz açık kaynak kod yapısına sahip mikro denetleyici Arduino geliştirme kartıdır. Çalışmada kare işaretçi (İTAG) yapısının kullanıldığı, çalışma ile kullanıcı arasındaki etkileşim yönteminin bilgisayara bağlanmış Arduino geliştirme kartına yaklaştırılan mıknatıs ve PC ekranındaki butonlar ile sağlandığı belirlenmiştir. Şekil 12’de çalışmadan alınmış örnek ekran görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 12. Uygulamadan bir görüntü
(An image from the application)

Eğitim alanında; İbili ve Şahin (2013) [72] 6. Sınıf matematik ders kitabındaki geometrik cisimler ünitesindeki 2 boyutlu (2D) statik görüntülerin 3 boyutlu (3D) görüntüler şeklinde bilgisayar ekranında görülmesini sağlayan, masaüstü bilgisayarlarda çalışabilen ARGE3D isimli bir yazılım geliştirmişlerdir. Şekil 13’de uzamsal görüntüleme sistem yapısına sahip bu çalışmadan alınmış örnek ekran görüntüleri yer almaktadır. ARGE3D yazılımı için Visual Studio 2012, Microsoft Silverlight yazılım geliştirme düzlemi, SLARToolKit kütüphanesi, 3D görüntülerde Balder ve 3DS Max programı kullanılmıştır. Bu çalışmada uzamsal görüntüleme sistemi olarak masaüstü bilgisayar (PC) ve WebCam ikilisi, işaretçi yapısı olarak beyaz kenarlık ile çevrelenmiş siyah zemin içine beyaz desenlerle resmedilmiş bir küp tercih edilmiştir.



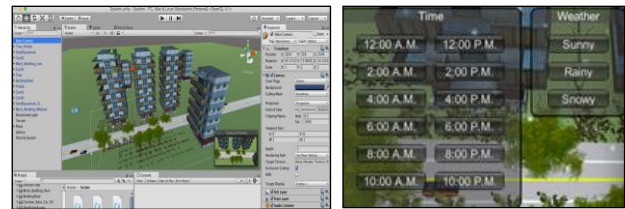
Şekil 13. Uygulamadan bir görüntü
(An image from the application)

Mühendislik alanında; D. Parmar ve ark. (2015) [73] tarafından mühendislik alanında yer alan öğrencilerin grafik teknik bilgisini artırmaya yönelik bir uygulama çalışması yapılmıştır. Uygulama masaüstü bilgisayarların tüm işletim sistemlerinde ve android tabanlı tüm mobil araçlarda siyah beyaz desenli taşınabilir bir işaretçi ile kullanılabilir. Uygulama için AR-Book kitabı tasarlanmıştır. Şekil 14’de görüleceği gibi uygulama aşamasında AR-Book ve taşınabilir işaretçi kamera görüş açısına bırakılmalıdır. AR-Book kitap sayfası kullanıcı tarafından değiştirildikçe kitap sayfasında yer alan işaretçi yapısına göre çağrılan dijital 3D nesne taşınabilir işaretçi üzerine yüklenir ve ekranda görüntülenir.



Şekil 14. Uygulamadan bir görüntü
(An image from the application)

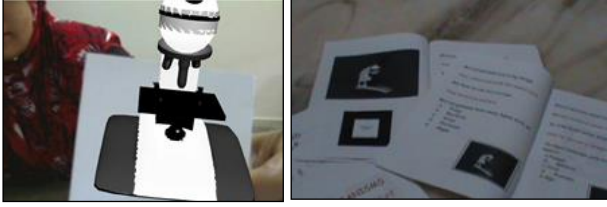
Trafik alanında; M. Zhang (2016) [74] tarafından artırılmış gerçeklik teknolojisine sahip gerçek zamanlı trafik akış tahmin uygulaması yapılmıştır. Taşınabilir cihazlarda çalıştırılacak bu çalışma temel nesnelere modellenmesinde (yol, ağaç, bina, bulut) Unity3D oyun motoru, modellemelerde AutoCAD ve 3DMax, model görevlerinde komut dosyaları (Scripts), kullanıcı ile çalışma arasındaki etkileşimde sanal ekran butonları kullanılmıştır. Şekil 15’de görüleceği gibi kullanıcının ekran butonlarındaki seçimine göre uygulamadaki yol, hava ve araç durumları değişecektir.



Şekil 15. Trafik AR (Traffic-AR)

Engelliler alanında; N. M. N. Zainuddin ve ark. (2010) [75] tarafında duyma engeli öğrencilerin kullanımına yönelik bir AG uygulama yazılımı (AR-Book) gerçekleştirilmiştir. AR-Book siyah beyaz işaretçi, PC ve WebCam araçları kullanılmaktadır. Görsel odaklı bir yapıya sahip AR-Book yazılımı 3 duyma engeli öğrenci

üzerinde çalışması yapılmıştır. Uygulamaya “3D Model Marker” ve “İşaret Dili Marker” olmak üzere iki işaretçinin tanıtılması, “mikroskop” ders konusunun belirlenmesi ve AR-Book 1, AR-Book 2, AR-Book 3 kitapçıklarının tasarlanması yapılmıştır. Uygulama sonucunda işaretçi yapıları dijital 3D kullanımın rakiplerine göre daha başarılı olduğu belirtilmektedir. Bu uygulamaya ait ekran görüntüleri şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Uygulamadan bir görüntü
(An image from the application)

7. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER (DISCUSSION, RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, artırılmış gerçeklik teknolojisine sahip ulusal ve uluslararası 34 akademik çalışma, yayım yılları, yayım yerleri, AG türleri, görüntüleme sistem türleri, kullanıcı ve cihaz etkileşim şekilleri ve kullandıkları AG araçları (fireworks) açısından incelenmiştir.

Çalışmada, belirlenen yıllar arasında en az çalışmanın 2010 ve 2011 yıllarında yapılmış olduğu, devam eden yıllarda (%11,8-%20,6) birbirine yakın değerler olsa da 2010 (%8,8) ve 2011(%5,9) yıllarına göre az bir artışın gerçekleştiği görülmüştür. Bu artış sebebi; AG ortamlarının üzerinde çalıştığı cihaz teknolojisinin zamana bağlı olarak gelişimi, bilgiye erişimin kolaylaşması, araştırmacıların bu teknolojiye olan ilgilerinin artması ve uygulama alanının genişlemesi olarak söylenebilir. Bu artış ve değişim değerlerinin sebeplerini daha net açıklayabilmek için çalışmalarda araştırmaya dâhil edilen örneklem sayılarının çoğaltılması, zaman aralığının uzun tutulması gerektiğini ortaya çıkartmaktadır.

Çalışmada, incelenen 34 çalışmanın 27 farklı kaynaktan yayımlandığı görülmüştür. 2010-2016 yılları arasında en çok çalışmanın IEEE’de yayımlandığı (%17,6), bunu Computer&Education (%5,9) ve Procedia (%5,9)’nın takip ettiği, diğer 24 dergi veya kitapta 1’er çalışmanın yayımlandığı belirlenmiştir. IEEE (eng: Institute of Electrical and Electronics Engineers)’de yayınlanan çalışma sayısının diğer dergi veya kitap yayın sayılarına göre oldukça fazla olması, bu derginin teknolojinin ilerlemesi için oluşturulmuş dünyanın en büyük profesyonel organizasyon yayını olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu yayın sayısı, IEEE’nin dünyada elektrik, elektronik, bilgisayar ve otomasyon teknolojilerindeki yayınlarının büyük bir bölümünü yayınlıyor olması ve farklı alanlarda yapılmış AG çalışmalarının bu dergideki yayınlanma durumu ile açıklanabilmektedir.

İncelenen çalışmalarda çoğunlukla İTAG’nin (N=28) tercih edildiği görülmüştür. Bu gözlemlerle birlikte bunu İTOAG (N=4) ve KTAG (N=2) takip etmiştir. İTAG’nin temeline bakıldığında 3D modelin ekranda uygun yere yerleştirilmesi ve sisteme önceden tanıtılması gerektiği görülür. Diğer artırılmış gerçeklik türlerine göre İTAG çalışma sayısının fazla olması, 1999 yılında açık kaynak kodlu ARToolKit yazılımının piyasaya çıkmasından, bu bağlamda yapılan yayınların artmasından ve farklı alanlardaki araştırmacıların bu yapıyı kullanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı zamanda Augment, Vuforia, Wikitude ve Kudan vb. AG geliştirme araçları da İTAG çalışmalarının artmasında önemli bir etken olarak sayılabilir. İTOAG’nin İTAG’ye göre az olmasına, yazılımcıların ortama işaretçi eklemek yerine ortamdaki mevcut fiziksel nesne veya nesnelere yazılımla takip etme, bu duruma göre işlem yapma ve kaliteli donanım bulundurma gibi zorlu durumlar sebep olarak gösterilebilir. KTAG’nin en az tercih edilen izleme türü olması, uygulamalarda Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ve Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN) gibi teknolojilerin kullanım zorunluklarından, seçilecek cihazlarda bu özellikleri sağlayacak donanım ihtiyaçlarından kaynaklandığı söylenebilir.

Çalışmada, AG görüntüleme sistemlerinden en fazla video tabanlı sistemlerin (%94,1) tercih edildiği belirlenmiştir. Bu tercihe, video tabanlı sistemlerin, uzamsal görüntüleme sistemlerini ve taşınabilir görüntü sistemlerini içinde barındırması, optik tabanlı sistemlerde (%5,9) AG görüntüsünün direkt olarak kullanıcının göz hizasında oluşturulmasını sağlayacak HMD cihazlarının oluşturulması ve programlanma güçlüklerinin neden olduğu söylenebilir. Aynı zamanda Video tabanlı çalışmaların fazla olması, masaüstü ve dizüstü bilgisayarların uzun zamandır hayatımızda yer alması, araştırmacıların bu cihazları kullanmadaki olumlu yetenekleri gibi durumlarla da açıklanabilir.

İncelenen araştırma sonuçlarına göre uzamsal görüntüleme sistemleri arasında en fazla PC ve WebCam ikilisinin birlikte kullanıldığı, diğer donanım cihazlarını kullanan çalışma sayısının 1’er olduğu görülmüştür. Ancak belirtilen diğer cihazların bu iki donanımla kullanılmadığı anlamına gelmemektedir. Çalışmadaki bu fazlalığın sebebi; araştırmacıların çalışmalarında ek bir görüntü donanımına ihtiyaç duymamalarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Çalışmaların sadece PC ve WebCam cihaz ikilisi kullanılarak yapılması araştırmacıların uygulamalarını WebCam bağlantılı masaüstü bilgisayarlarda veya taşınabilir cihazlarda (tablet&telefon) gerçekleştirdikleriyle açıklanabilir. Bununla birlikte araştırmacıların çalışmalarında taşınabilir görüntüleme sistemlerinden tablet cihazları (%77,8) mobil cihazlara (%22,2) göre daha fazla tercih ettiği görülmüştür. Tablet cihazların tercih sebebi, 10 saate yaklaşan pil ömürleri, uygun satış fiyatları, yüksek seviyelerde kamera ve ekran çözünürlükleri ve en önemlisi ekran boyut büyüklüğü olarak açıklanabilir. Buna karşın incelenen araştırmalarda içinde sadece 2 tane

3D Glass çalışmasının olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak araştırmacıların video tabanlı sistemler üzerinde daha kolay ve esnek çalışma yaptığı, maliyetinin yüksek olması ve 3D Glass gibi cihazların çalışmayı sınırlandırmasını istemediklerinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada AG çalışması ile kullanıcı arasında gerçekleşen etkileşim yönteminde en fazla Dokunma (%25) ve Fare/Klavye (%25) kullanımı olduğu belirlenmiştir. Bunu Ek Bir İşaretçi (%17,5), Belirtilmemiş (%15) takip etmektedir. En az sayının 3D Gözlük (%2,5) olduğu ortaya çıkmıştır. Dokunma ve Fare/Klavye kullanımını fazla olması, araştırmalarda daha önce belirtilen uzamsal ve taşınabilir sistemlerin sayılarının fazla olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. En az çalışmanın fiziksel buton ile yapılması araştırmalarda fiziksel buton etkileşiminin çok kullanışlı olmaması sebebiyle açıklanabilir. Open CV (%5) ile yapılan çalışmaların az olması yine daha önce belirtilen İTOAG yapısındaki zorluklardan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada, en fazla ARToolKit ve türevleri üzerine çalışma gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu sonucun ARToolKit aracının açık kaynak ve İTAG tabanlı bir araç olmasından kaynaklı olduğu söylenebilir.

Bu doğrultuda aşağıdaki öneriler de ek olarak verilebilir;

- KTAG çalışmalarına daha fazla ağırlık verilebilir.
- Optik Görüntüleme Sistemleri üzerine fazla çalışmanın olmaması, gelecekte yapılacak çalışmalar için etkili bir uygulama alanı olabilir
- Ülkemizde ulusal araştırma kurumları tarafından AG sistemleri ve hareket algılamalı AG teknolojilerini içeren konular öncelikli alanlar listesine alınabilir, araştırmacıların bu alanlarda araştırma yapmalarını teşvik edilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] T. İçten and G. Bal. "Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi.", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2), 111-136, 2017.
- [2] P. Milgram, F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays", *IEICE Transactions on Information Systems*, 77(12), 1321-1329, 1994.
- [3] S.Somyürek, "Öğrenme sürecinde z kuşağının dikkatini çekmek: artırılmış gerçeklik", *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 4(1), 63-80, 2014.
- [4] L. Koşan, "Muhasebe Eğitiminde Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları", *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(2), 2014.
- [5] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality", *Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385, 1997.

[6] Ç. Uluyol, "Bir Artırılmış Gerçeklik Uygulamasının Geliştirilmesi ve Öğrenci Görüşleri", *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3, 793-823, 2016

[7] Ç. Erbaş, V. Demirel, "Eğitimde Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları: Google Glass Örneği", *Journal of Instructional Technologies & Teacher Education*, 3(2), 8-16, 2014.

[8] Y. Özarslan, "Öğrenen içerik etkileşiminin genişletilmiş gerçeklik ile zenginleştirilmesi", **5. International Computer & Instructional Technologies Symposium (ICITS 2011)**, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 726-730, 22-24 September 2011.

[9] J. C. Gonzato, T. Arcila, B. Crespin, "Virtual objects on real oceans", **In Graphicon'2008**, Russia, 49-54, 23-27 Jun, 2008.

[10] S. C. Bronack, "The role of immersive media in online education.", *The Journal of Continuing Higher Education*, 59(2), 113-117, 2011.

[11] E. Klopfer, K. Squire, "Environmental detectives: the development of an augmented reality platform for environmental simulations.", *Educational Technology Research and Development*, 56(2), 203-228, 2008.

[12] W. Zhu, C. B. Owen, H. Li, J. H. Lee, "Personalized in-store e-commerce with PromoPad: an augmented reality shopping assistant", *Electronic Journal for E-commerce Tools and Applications*, 1(3), 1-19, 2004.

[13] S. K. Feiner, "Augmented reality: A new way of seeing", *Scientific American*, 286(4), 48-55, 2002.

[14] D. W. F. Van Krevelen, R. Poelman, "A survey of augmented reality technologies, applications and limitations", *International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1, 2010.

[15] M. Sırakaya, S. S. Seferoğlu, "Öğrenme ortamlarında yeni bir araç: Bir eğitilme uygulaması olarak artırılmış gerçeklik.", **Eğitim Teknolojileri Okumaları 2016**, Editör: A. İşman, F. Odabaşı, B. Akkoyunlu, Adapazarı: TOJET ve Sakarya Üniversitesi, 417-438, 2016.

[16] M. Billinghurst, H. Kato, I. Poupyrev, "The MagicBook - moving seamlessly between reality and virtuality", *Computer Graphics and Applications*, IEEE, 21(3), 6-8, 2001.

[17] L. Kerawalla, R. Luckin, S. Seljeflot, A. Woolard, "Making it real: exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science", *Virtual Reality*, 10(3-4), 163-174, 2006.

[18] T. P. Caudell, D. W. Mizell. "Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes." System Sciences, 1992. **Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference**, USA, IEEE, 659-669, 7-10 Jan, 1992.

[19] L. B. Rosenberg, "Virtual Fixtures: Perceptual Tools for Telerobotic Manipulation", **Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium**, 76-82, 1993.

[20] S. Feiner, B. Macintyre, D. Seligmann, "Knowledge-Based Augmented Reality", *Communications of the ACM*, 36(7), 53-62, 1993.

[21] R. Raskar, G. Welch, H. Fuchs, "Spatially Augmented Reality", **First IEEE International Workshop on Augmented Reality (IWAR 98)**, San Francisco, 11-20, 1998.

[22] M. Fiala, "ARTag, An Improved Marker System Based on ARToolKit", NRC, Canada, 2004.

- [23] B. Thomas et al., "ARQuake: An outdoor/indoor augmented reality first person application", **Wearable computers, the fourth international symposium on**. IEEE, 139-146, 2000.
- [24] C. Albanesius, "Google 'project glass' replaces the smartphone with glasses", *PC magazine*, 4, 2012.
- [25] M. A. Livingston, Z. Ai, K. Karsch ve G. O. Gibson, "User interface design for military ar applications.", *Virtual Reality (UK)*, 15(2-3), 175-184, 2011.
- [26] M. Yeh, C.D. Wickens, "Display signaling in augmented reality: Effects of cue reliability and image realism on attention allocation and trust calibration", *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 43(3), 355-365, 2001.
- [27] B. E. Shelton, N. R. Hedley, "Using augmented reality for teaching earth-sun relationships to undergraduate geography students." **Augmented Reality Toolkit, The First IEEE International Workshop**, Germany, 29 September, 2002.
- [28] F. Liarokapis, P. Petridis, P. F. Lister & M. White, "Multimedia augmented reality interface for e-learning (MARIE)", *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 1(2), 173-176, 2002.
- [29] D. Wagner, T. Pintaric, F. Ledermann, D. Schmalstieg, "Towards massively multi-user augmented reality on handheld devices", **Pervasive Computing: Third International Conference**, Pervasive 2005, Berlin, 77-95, 8-13 May, 2005.
- [30] A. Damala, M. Isabelle, H. Pascal, "Merging augmented reality based features in mobile multimedia museum guides." **Anticipating the Future of the Cultural Past, CIPA Conference 2007**, 1-6 October, 2007
- [31] T. Sielhorst, T. Obst, R. Burgkart, R. Riener, N. Navab, "An augmented reality delivery simulator for medical training", **International Workshop on Augmented Environments for Medical Imaging-MICCAI Satellite Workshop 2004**, 7(6), 11-20, 2004.
- [32] E. D. Pisano, H. Fuchs, A. State, M.A. Livingston, G. Hirotab, W. F. Garrett, M. C. Whitton, "Augmented reality applied to ultrasound-guided breast cyst aspiration", *Breast disease*, 10(3,4), 221-230, 1998.
- [33] A. State, D. T. Chen, C. Tector, A. Brandt, H. Chen, R. Ohbuchi, M. Bajura ve H. Fuchs, "Observing a volume rendered fetus within a pregnant patient", **Proceedings of the Conference on Visualization 94, Visualization'94**, IEEE, USA, 21 October, 1994.
- [34] V. V. Patel, M. W. Vannier, J. L. Marsh, L. Lo, "Assessing craniofacial surgical simulation", *IEEE Computer Graphics and applications*, 16(1), 46-54, 1996.
- [35] R.H. Taylor, J. Funda, L. Joskowicz, A. D. Calvin, S. H. Gomory, A. P. Guezic, L. M. G. Brown, "An overview of computer-integrated surgery at the IBM Thomas J. Watson Research Center.", *IBM journal of research and development*, 40(2), 163-183, 1996.
- [36] T. H. Höllerer, S. K. Feiner, "Mobile augmented reality", **Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services**, Editör: H. Karimi, A. Hammad, Taylor and Francis Books Ltd., London, UK 21, 2004
- [37] V. Vlahakis ve ark., "ArcheoGuide: first results of an augmented reality, mobile computing system in cultural heritage sites", **Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural Heritage**, ACM, 131-140, 2001.
- [38] V. Vlahakis, A. Demiris, E. Bounos, N. Ioannidis, "A novel approach to context-sensitive guided e-tours in cultural sites: Light augmented reality on PDAs", **Proceedings of the 5th International conference on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage**. Eurographics Association, 57-66, 2004.
- [39] T. H. J. Collett, B. A. MacDonald, "Augmented reality visualisation for player", **In Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, ICRA 2006, 3954-3959, 2006.
- [40] K. Pentenrieder, C. Bade, F. Doil, P. Meier, "Augmented Reality-based factory planning - an application tailored to industrial needs", **IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality**, Japan, 31-42, 13-16 Nov., 2007.
- [41] A. Y. C. Nee, S. K. Ong, G. Chryssolouris, D. Mourtzis, "Augmented reality applications in design and manufacturing", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 61(2), 657-679, 2012.
- [42] V. R. Kamat, S. E-Tawil, "Evaluation of augmented reality for rapid assessment of earthquake-induced building damage", *Journal of computing in civil engineering*, 21(5), 303-310, 2007.
- [43] K. E. Chang, C. T. Chang, H. T. Hou, Y. T. Sung, H. L. Chao, C. M. Lee, "Development and behavioral pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum", *Computers & Education*, 71, 185-197, 2014.
- [44] P. Connolly, C. Chambers, E. Eagleson, D. Matthews, T. Rogers, "Augmented reality effectiveness in advertising", **65th Midyear Conference on Engineering Design Graphics Division of ASEE**, 3-6, Oct., 2010.
- [45] W. Piekarski, B. Thomas, "ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system", *Communications of the ACM*, 45(1), 36-38, 2002.
- [46] H. L. Chi, S. C. Kang, X. Wang, "Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction", *Automation in construction*, 33, 116-122, 2013.
- [47] F. Roesner, T. Kohno, D. Molnar, "Security and privacy for augmented reality systems", *Communications of the ACM*, 57(4), 88-96, 2014.
- [48] W. R. Sherman, A. B. Craig, **Understanding virtual reality: Interface, application and design**, Elsevier, 2002.
- [49] H. Altınpulluk, "Artırılmış gerçekliği anlamak: kavramlar ve uygulamalar", *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 1(4), 123-13, 2015.
- [50] M. A. Çakal, E. B. Eymirli, "Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi", Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı, http://www.kudaka.org.tr/ekler/fa254-artirilmis_gerceklik_teknolojisi.pdf, 10.08.2016.
- [51] M. Fiala, "ARTag, an Improved Marker System Based on ARToolkit". National Research Council Canada, Publication Number: NRC, 2004.
- [52] A. T. Korucu, E. Usta, İ. F. Yavuzarslan, "Eğitimde Artırılmış Gerçeklik Teknolojilerinin Kullanımı: 2007-2016 Döneminde Türkiye'de Yapılan Araştırmaların İçerik Analizi", *Alan Eğitimi Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 84-95, 2016.
- [53] A. Arslan, M. Elibol, "Analysis of educational augmented reality applications: The case of Android operating system Eğitsel artırılmış gerçeklik uygulamalarının incelenmesi: Android işletim sistemi örneği" *Journal of Human Sciences*, 12(2), 1792-1817, 2015.

- [54] Z. A. Yılmaz, V. Batdı, "Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Eğitimle Bütünleştirilmesinin Meta-Analitik ve Tematik Karşılaştırmalı Analizi", *Eğitim ve Bilim*, 41(188), 2016.
- [55] A. Yıldırım & H. Şimşek, **Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri**, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2006.
- [56] A. Yıldırım & H. Şimşek, **Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri**, Ankara: Seçkin Yayınları, Ankara, 2008.
- [57] K. Krippendorff, **Content analysis: An introduction to its methodology**, Beverly Hills: Sage, 2012.
- [58] E. Tavşancıl, E. Aslan, **İçerik analizi ve uygulama örnekleri**, Epsilon yayıncılık, İstanbul, 2001.
- [59] A. Koçak, A. Özgür, "İçerik analizi çalışmalarında örneklem sorunu", *Selçuk Üniversitesi İletişim Fakültesi Akademik Dergisi*, 4(3), 21-28, 2006.
- [60] K. H. Cheng ve C. C. Tsai, "Affordances of augmented reality in Science learning: Suggestions for future search", *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 449-462, 2013.
- [61] E. İbili, **Geometri dersi için artırılmış gerçeklik materyallerinin geliştirilmesi, uygulanması ve etkisinin değerlendirilmesi**, Yayımlanmamış doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [62] M. Esengün, **2 Boyutlu Harita Ve Artırılmış Gerçeklik Tabanlı Mobil Navigasyon Uygulamalarının Kıyaslamalı Değerlendirilmesi**, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [63] G. Cherchi, F. Sorrentino, R. Scateni, "AR Turn-by-turn Navigation in Small Urban Areas and Information Browsing", **Eurographics Italian Chapter Conference**, 37-40, 2014.
- [64] R. Wojciechowski and W. Cellary, "Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments." *Computers & Education*, 68, 570-585, 2013.
- [65] H. Fuchs and J. Ackerman, "Displays for augmented reality: Historical remarks and future prospects", **Mixed Reality Merging Real and Virtual Worlds**, Ohta Y and Tamura H, Ohmsha Ltd, 31-40, 1999.
- [66] M. T. Yang, W. C. Liao, "Computer-Assisted Culture Learning in an Online Augmented Reality Environment Based on Free-Hand Gesture Interaction", *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(2),107-117, 2014.
- [67] M.K. Tsai, P.H. E. Liu, N.J. Yau, "Using electronic maps and augmented reality-based training materials as escape guide lines for nuclear accidents: An explorative case study in Taiwan", *British Journal of Educational Technology*, 44(1) , 2013.
- [68] N. Enyedy, J. A. Danish, G. Delacruz, M. Kumar, "Learning physics through play in an augmented reality environment", *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 7(3), 347-378, 2012.
- [69] D. Pérez - López, M. Contero, "Delivering educational multimedia contents through an augmented reality application: A case study on its impact on knowledge acquisition and retention", *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 12 (4), 19 - 28, 2013.
- [70] S. Cuendet, Q. Bonnard, S. Do-Lenh & P. Dillenbourg, "Designing augmented reality for the classroom." *Computers & Education*, 68 557-569, 2013.
- [71] M. S. Abdüsselam, H. Karal, "Fizik öğretiminde artırılmış gerçeklik ortamlarının öğrenci akademik başarısı üzerine etkisi: 11. Sınıf manyetizma konusu", *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 1(4), Makale 20, ISSN: 2146-9199, 170-182, Kasım 2012.
- [72] E. İbili, S. Şahin, "Artırılmış Gerçeklik ile İnteraktif 3D Geometri Kitabı Yazılımın Tasarımı ve Geliştirilmesi: ARGE3D", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 1-8, 2013.
- [73] D. Parmar, K. Pelmahale, R. Kothwade, P. Badgular, "Augmented Reality System for Engineering Graphics", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering (IJARCCE-)*, 4(10), 327-330, 2015.
- [74] M. Zhang, **Real-time traffic flow prediction using augmented reality**, Yüksek Lisans Tezi, the University of Windsor, School of Computer Science, 2016.
- [75] N. M. M. Zainuddin, H. B. Zaman, A. Ahmad, "A Participatory Design in Developing Prototype an Augmented Reality Book for Deaf Students", **Second International Conference on Computer Research and Development**, *IEEE Computer Society*, 400-404, 2010.

Bütünleşik SWARA - COPRAS Yöntemi Kullanarak Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcılarının Değerlendirilmesi

Engin ÇAKIR¹, Büşra KUTLU KARABIYIK²

¹Nazilli İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye

²Söke İşletme Fakültesi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye

engincakir@adu.edu.tr, busra.kutlu@adu.edu.tr

(Geliş/Received:03.03.2017; Kabul/Accepted:07.10.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.296094

Özet— Teknolojinin hızlı gelişimi ile birlikte DVD, USB ve hatta harici disklerin yerini bulut depolama servisleri almaya başlamıştır. Bulut depolama; sunucular tarafından ağ üzerinde sanal biçimde oluşturulan havuzlarda veri depolanmasıdır. Bulut depolamada kullanıcılar internet üzerinde kendilerine ait bir depolama alanına sahip olmakta ve dosyalarını bu alanda saklayabilmektedirler. Bu çalışmanın amacı; büyük çaplı veri merkezlerini işleten ve depolama için alan sunan çeşitli bulut depolama hizmet sağlayıcıları arasından en iyisinin seçilmesidir. Seçim konusunda literatürde karşılaşılan çeşitli kriterler söz konusudur. Kriterler eşit öneme sahip olmadığından, kriterlerin önem düzeyleri SWARA yöntemi ile belirlenmiştir. Oluşturulan kriterler ışığında COPRAS yöntemi ile en iyi bulut depolama hizmet sağlayıcısının seçimi yapılmıştır. En yüksek önem derecesine sahip kriterin “Güvenlik” kriteri olduğu ve en düşük öneme sahip kriterin ise “Müşteri Hizmetleri” olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En iyi bulut depolama hizmet sağlayıcısının Google Drive olduğu bilgisine ulaşılmışken; diğer bulut depolama hizmet sağlayıcılarından Yandex.Disk ikinci, iCloud Drive üçüncü, Dropbox dördüncü, Box beşinci ve OneDrive altıncı sırada yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler— Bulut Depolama, Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcıları, SWARA Yöntemi, COPRAS Yöntemi

Evaluation of Cloud Storage Service Providers Using Integrated SWARA - COPRAS Method

Abstract— Along with the rapid development of technology; DVD, USB and even external drives have begun to receive cloud storage services. In cloud storage; data is stored in virtual pools which are created by the servers on the network. In cloud storage, users have their own storage space on the internet and can store their files in this area. The purpose of this study is to choose the best cloud storage service provider among various types of them that operate large data centers and provide space for storage. There are various criteria in the literature about selection. As the criteria do not have equal qualifications, the importance levels of the criteria are determined by the SWARA method. In the light of criteria created, the best cloud storage service provider has been chosen with the COPRAS method. While "Safety" criterion has been attended to the highest priority, "Customer Support Services" has the lowest priority. Google Drive is found as the best performing cloud service provider. Yandex.Disk, iCloud Drive, Dropbox, Box and OneDrive follow Google Drive cloud service provider respectively.

Keywords— Cloud Storage, Cloud Storage Service Providers, SWARA Method, COPRAS Method

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bulut; alt yapı, donanım, depo, ağ, ara yüz ve servis faktörlerinin birleşimidir [1]. Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsünün (NIST, 2015) tanımına göre; “Bulut bilişim, yapılandırılabilir bilişim kaynaklarından oluşan ortak bir havuza, uygun koşullarda ve isteğe bağlı olarak her zaman, her yerden erişime imkân veren bir modeldir. Söz konusu kaynaklar (bilgisayar ağları, sunucular, veri tabanları, uygulamalar, hizmetler vb.) aşgari düzeyde yönetimsel çaba ve hizmet alıcı-hizmet sağlayıcı etkileşimi gerektirecek kolaylıkta tedarik

edilebilmekte ve elden çıkarılabilmektedir”. Bulut bilişim, bilginin paylaşılmasıyla dağıtık iş süreçlerinin daha kolay yönetilebilmesini ve küreselleşmenin artmasını sağlamaktadır [2]. Ani değişikliklerin önem arzettiği yüksek rekabet gerektiren piyasalarda sistemlerin esnekliği ve hızı şirketlere avantaj sağlamaktadır. Pocatilu ve ark. 2013 gelecekte bulut sistemlerinde veri depolama faaliyetlerin daha ucuzlayacağını ve işletmelerin yazılım, depo alanı, güvenlik, veri, veritabanı vb. işlemleri bir hizmet olarak satın alacağını öngörmüştür [3].

Günümüzde de bireyler, şirketler ve devlet organları bilgi ve teknolojiye ulaşma yöntemlerini kökten değiştiren bulut bilişim hizmetlerinden sıklıkla faydalanmaktadır [4]. Bulut bilişim yazılım endüstrisi için yeni bir iş kolu oluşturmuştur [5]. Bulut depolama ise esnekliği, fonksiyonelliği, ulaşılabilirliği ve düşük maliyetleri sebebiyle en gözde bulut bilişim servislerinden biridir [6]. Tipik bir bulut depolama hizmeti ile kullanıcılar pahalı yazılımlara sahip olmadan yalnızca internet aracılığıyla veri yedekleme ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Sistemlerin benimsenmesiyle beraber işletmelerde giderler azalmakta, sistem kurma ve sürdürme ile ilgili problemler ise ortadan kalkmaktadır [7]. Dijital ortamda veri saklama yöntemi olan bulut depolama; CD, DVD ve sabit sürücülerin bozulmalarına karşı oldukça iyi bir alternatiftir ve kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır [8]. Ucuz ve otomatik yedekleme sağlayan bulut depolama hizmetleri; bilgisayarlarını veya mobil cihazlarını düzenli olarak yedeklemeyen kişilerin değerli verilerini koruyarak, bu bireyler için vazgeçilmez hale gelmiştir [9]. Günümüzde bağımsız bireyler bulut depolama uygulamalarını büyük ölçüde benimsemiş iken, işletmelerin bulut bilişim sistemine geçiş oranları bağımsız bireylere nazaran daha düşüktür [10].

Bulut depolama; donanım özelliklerine sahip olmadığından modası geçmemekte, somut bir varlık olmadığından bozulma ihtimali ve buna bağlı olarak veri kaybı riski oluşmamakta ve genellikle gelişen teknoloji ile kendini güncelleyip ona ayak uydurduğundan aktif ve güncel olarak addedilmektedir. Aynı zamanda uzun dönemli sözleşmelerin yapılmasını gerektirmemekte, belgelerin ortaklaşa ve hızla düzenlenmesine imkân vererek iş süreçlerinin modernleşmesini sağlamaktadır. Olası bir felaket anında bilgileri koruyarak işletmenin sürekliliğini sağlamaktadır [1]. Bulut depolama hem kullanıcılar hem de hizmet sağlayıcılar için fayda sağlamaktadır. İşletmelerinde bulut depolama hizmetlerinden yararlanılmasını isteyen işletme yöneticileri, bulut depolama servisleri için yüksek maliyetlere katlanmamakta ve bulut hizmetleri alt yapı bakımı için herhangi bir sorumluluk taşımamaktadır. Kullanıcılar bulut depolama ile buldukları mekândan bağımsız olarak buluttaki tüm hizmetlere ulaşabilmektedirler. Bulut depolama hizmeti sağlayıcılar ise kaynaklarını birden fazla kullanıcı arasında paylaştırarak yüksek getiri elde etmektedirler. Kaynakların belirtildiği şekilde kullanımı ise enerji tüketimini optimize etmektedir [11]. Aynı zamanda, bilgilerin yedeklenmesine imkân tanınması, verilerin yönetimini merkezileştirmesi, sanal depolama kaynakları sağlama, depolama için geleneksel yöntemlere nazaran tasarruflu bir kaynak olması, esnekliği ve ihtiyaca göre ölçeklendirilebilme yeteneği, farklı aygıt ve cihazlarda uyumlu çalışabilme yeteneği, takım çalışmasına ve kaynak paylaşımına elverişliliği ile oldukça faydalı bir sistemdir.

Günümüzde kullanıcılar için pek çok avantaj barındıran bulut depolama sistemlerini tedarik eden çok sayıda bulut

depolama hizmet sağlayıcısı bulunmaktadır. Bulut depolama hizmet sağlayıcılarından bazıları birtakım özellikleriyle diğerlerine üstünlük sağlamakta ve çeşitli yönleriyle ön plana çıkmaktadırlar. Bu depolama şirketlerden bazıları ücretsiz depolama alanının fazlalığı ile dikkat çekerken, diğerleri senkronizasyon hızı, kullanım kolaylığı vb. sebeplerden tercih edilebilmektedirler. Birbirlerine karşı çeşitli üstünlükleri olan bulut depolama hizmet sağlayıcılarından hangisinin en faydalı ve kullanışlı olduğunun bilinmesi; hizmeti almaya karar veren kullanıcıların zamandan tasarruf ederek kendileri için en uygun depolama hizmeti sağlayıcısını tercih etmelerini sağlamaktadır. Bulut depolama sisteminin olası negatif özellikleri; verilere sahip şirketin güvenlik problemi yaşaması ihtimali ve bireylerin mahrem belgelerinin başka şahıslarla paylaşılma ihtimalidir [3]. İnternet olan her yerden sisteme erişim bulunmaktadır. Ancak aynı zamanda bulut depolama servislerinin hacklenme ihtimali bulunmakta ve belgeler suç unsuru teşkil edebilecek amaçlarla kullanılabilir. Siber suçlular veya organize suç örgütleri tarafından çocuk istismarı veya terörizm ilgili belgelerin depolanma ve dağıtım faaliyetleri karşılaşılan sorunlardan bazılarıdır. Bununla birlikte bulut bilişim; kişilerin suç teşkil eden işlerinde yasaların ve polisin denetiminden kaçma amacıyla zaman zaman başvurdukları yollardan biridir [12]. Bulut depolamada veriler birden fazla sunucuda paylaştırıldığından, verilere erişim yetkisi kaybedilebilmekte ve kullanıcılara ait kredi kartı bilgileri veya şifreleri içeren dokümanların servis sağlayıcılar tarafından çalınma ihtimali bulunmaktadır. Bulut depolama şirketlerinin iflase karşı koyamama ihtimalleri ve iç - dış ataklara karşı güvenlik açığı barındırma ihtimalleri, güvenilir bir yazılım veya donanım kullanılmaması ihtimalinden doğan güvensizlik durumu ve yaşanabilecek kuralsızlıklara karşı adli bilişim sürecinin tam olarak işlememe ihtimali bulunmaktadır [11]. Ancak bulut depolama sistemleri içerdiği risk unsurlarının yanında kullanıcılara sağladığı faydalar dikkate alındığında kullanıcılar tarafından benimsenmekte ve ciddi oranlarda kullanılmaya devam edilmektedir.

Bu çalışmanın motivasyonu; bulut bilişime dair etraflıca yürütülecek literatür araştırması ile bulut depolama hizmetlerinin bilinirliği arttırmak [13], bulut depolama hizmet sağlayıcılarının tercih edilme sebeplerini ölçümleyebilme yeteneğine sahip kriterleri literatüre kazandırabilmek ve yerini günden güne sağlamlaştıran ve çok değişkenli karar verme tekniklerinden biri olan SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis - Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) metodunu araştırmacılara iyi bir şekilde tanıtabilmektir. Finalde ise son kullanıcıların benimseyebileceği ideal bulut bilişim hizmet sağlayıcısını belirleyebilmektir. Çalışmanın özgünlüğü literatürdeki çeşitli çalışmalarda yer alan kriterlerin harmanlanması ve konu ile ilişkili olarak içeriklerinden bazılarının elimine edilmesi ile bu çalışmaya özgü olarak bulut depolama hizmetleri değerlendirme kriterlerinin oluşturulmasıdır.

Çalışmada ele alınan bulut depolama hizmet sağlayıcıları; Box, Dropbox, iCloud Drive, Google Drive, OneDrive ve Yandex.Disk'tir. Bulut depolama hizmet sağlayıcılarından Dropbox 2007 yılında kurulmuştur. Dropbox 500 milyonu aşan kullanıcı sayısı ile en fazla benimsenen bulut depolama şirketlerinden biridir [14]. 2011 yılında kurulan iCloud Drive sadece Apple kullanıcılarına hizmet vermektedir. 2012 yılında kurulan Google Drive diğer bulut servislerine nazaran yeni sayılabilmektedir. Box 2005 yılında, Yandex.Disk Nisan 2012'de ve One Drive bulut hizmeti; Sky Drive, Windows Live SkyDrive ve Windows Live Folders ismi ile Ağustos 2007'de kurulmuştur [15].

Bu çalışmada; giriş bölümünden sonra yer alan ikinci bölümde bulut bilişim sistemleri ve bulut depolama sistemleri tercihlerinde dikkate alınan parametreler ve SWARA metodunun kullanın alanlarına yönelik literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde; bu çalışmadaki en iyi bulut depolama servis sağlayıcısının değerlendirilmesinde ele alınan kriterler ve çalışmada değerlendirilen altı adet bulut depolama servis sağlayıcısı hakkında detaylı bilgi verilerek çalışmaya yönelik

kavramsal ve metodolojik çerçeve oluşturulacak; aynı zamanda kriter ağırlıklandırma için SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis - Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) ve alternatifler arasından en iyi bulut depolama hizmet sağlayıcısının seçimi için COPRAS (Complex proportional assessment- Karmaşık Orantılı Değerleme) metodlarının neden tercih edildiğine ve yöntemlerin teorik alt yapılarına değinilecektir. Dördüncü bölümde SWARA ve COPRAS metodu ile analizler yürütülecek ve ele alınan alternatifler arasından en iyi bulut bilişim hizmet sağlayıcısı seçimi yapılacaktır. Beşinci ve son bölümde ise bulunan analiz sonuçları yorumlanacaktır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ (LITERATURE REVIEW)

2.1 Bulut Bilişim ve Bulut Depolama Sistemleri Tercihlerinde Yararlanılan Parametreler

Bulut depolama ve bulut bilişim sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler ile ilgili literatür incelemesi Tablo 1'de özet halinde gösterilmiştir.

Tablo 1. Literatür Özeti (Literature Review)

Konu	Yazar(lar)	Amaç	Kriterler	Yöntem	Metodoloji
Bulut Bilişim Hizmetleri	Choi ve Jeong 2014 [5]	Hizmet Kalitesine Göre Bulut Bilişim Hizmetleri Tercih	Ulaşılabilirlik, Güvenilirlik, Performans, Ölçeklendirilebilirlik, Güvenlik ve Veri Yönetimi	Uzman Değerlendirmesi	ANP
	Gutierrez ve ark. 2015 [16]	İngiltere'de Yöneticilerin Bulut Bilişim Uygulamalarını Benimsemelerinde Etkili Olan Faktörler	Diğer Sistemlere Olan Görelî Avantajlar, Sistemin Rekabet Edebilirliği, Üst Yönetimin Desteği, Firma Büyüklüğü, Teknolojiye Hazırlık Derecesi, Rekabetçi Baskı, Ticaret Ortaklarının Baskısı	Anket Çalışması	Lojistik Regresyon Analizi
	Ali ve ark. 2016 [4]	Avustralya'daki Belediyelerin Bulut Bilişim Hizmetinin Benimsenmesi	İnternet Bağlantısının Olması, İnternetin Hızlılığı, Ulaşılabilirlik, Güvenilirlik, Sağlanan Veri Depolama Alanı Büyüklüğü, Güvenlik, Verinin Büyüklüğü, Maliyet, Bulutun Entegrasyon Yeteneği, Veri Yedekleme Kabiliyeti, Hizmet Sağlayıcıya Bağlılık, Çalışanların Konuya İlişkin Bilgisi ve Çalışanların Hareketliliği	Anket Çalışması	İçerik Analizi, Ölçek Benimsenmelerinin Yüzdelik Derecesi
	El-Gazzar ve ark. 2016 [17]	Bulut Bilişimin Benimsenmesinde Etkili Olan Faktörler	Bulut Bilişimin Güvenlik Derecesi, Stratejiye Uygunluğu, Yasallık Ve Etik Olgusu, Çalışanların Bilişim Yetkinliği Derecesi, Geçiş Seviyesi, Kültür Seviyesi, İşin Yapısı, Farkındalık Düzeyi, Ulaşılabilirlik Düzeyi ve Etki Derecesi	Delphi Tekniği	Beyin Fırtınası, Konuyu Daraltma, Sıralama
	Vidhyalakshmi ve Kumar 2016 [18]	Kobilerin Bulut Bilişimi Benimsenmesinde Etkili Olan Faktörler	Talebe Göre Ödeme Özelliği, Sermaye Maliyeti Ve Sürdürme Maliyetinin Olmaması, Bilginin Hızlı Yayılımı, Depo Alanının İhtiyaca Göre Kullanımı, Teknoloji Altyapısının Bulut ile Kurulmasından Ötörü Maliyetin Azalması ve Arkasındaki Bilişim Desteği ile Yeni Pazarlara Girme Riskinin Azalması, Bulutun Güncellenmesi Sorumluluğunun Satıcıya Ait Olması ve Satış Sonrası Problemlerin Çözülmesi	Finansal Oran Analizi	Toplam Maliyet Ortaklığı ve Yatırım Geri Dönüş Oranı
Bulut Depolama Hizmetleri	Shin ve ark. 2014 [19]	Son Kullanıcıların Bulut Depolama Hizmetlerini Benimsemelerinde Etkili Olan Faktörler	Aylık Ücret, Depolama Hacmi, Maksimum Yüklenebilen Dosya Boyutu, Senkronize Edilebilen Cihaz Adedi, Bulut Depolama Hizmeti Sağlayıcısının Üni ve Hizmet Sırasında Bağlantının Kopmama Durumu	Gibbs Örneklemesi	Bayes Tahmin Modeli
	Le ve ark. 2014 [20]	Bulut Depolama Alanı Seçiminde Etkili Olan Faktörlerin Bulunması	50gb için Aylık Ücret, Müşteri Hizmetlerinin Problemlere Cevap Verme Hızı, Müşteri Hizmetleri Servis Çeşitliliği (Çevrimiçi Destek, Eposta, Telefon, Forum), Belirli Bir Zaman Aralığında İletilen Veri Miktarı (MB), 1MB Dosyayı Yükleme için Gereken Zaman, Hizmet Sağlayıcısının Sunduğu Maksimum Depo Alanı, Hizmet Sağlayıcılarının Kullanıcı Taleplerine Cevap Verebilmek için Kaynaklarını Ölçeklendirebilme Yeteneği, Kullanıcının Fonksiyonları Amaca Göre Kullanabilme Yeteneği, Sistemin Kullanıma Uygunluk Zamanı	Uzman Değerlendirmesi	Fuzzy- ANP
	Papathanasiou ve ark. 2015 [21]	En Popüler Bulut Depolama Alanlarına Tüketici Perspektifinden Bakabilmek	Güvenlik, Dosya Paylaşma Yeteneği, Maksimum Yüklenebilen Dosya Boyutu, Verilen Bedava Depo Alanı, İşletim Sistemleri ile Olan Uyum ve Kullanım Kolaylığı	Uzman Değerlendirmesi	AHP ve PROMETHEE
	Burda ve Teuteberg 2016 [22]	Öğrencilerin Bakış Açısı ile Bulut Depolama Hizmeti Seçiminde Tüketici Tercihlerini İncelemek	Aylık Ücret, Ücretsiz Depolama Alanı, Ulaşılabilirlik (Yalnız Web Sitesi, Web + Masaüstü Uygulaması, Web + Masaüstü Uygulaması + Mobil), Verinin Bulut Sağlayıcılar İle Paylaşılması veya Verinin Kullanıcı Dışında Hiç Kimse ile Paylaşılmaması, Müşteri Hizmetleri Seviyesi (Sık Sorulan Sorular Belge ve Videolar Düzeyinde Temel, Eposta, Telefon veya Chat)	Anket Çalışması	Hiyerarşik Bayes Modeli

2.2. SWARA (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) Yöntemi ile İlgili Literatür (Literature on SWARA - Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis Method)

Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında yer alan ve son zamanlarda sıklıkla kullanılmaya başlanan SWARA yöntemi, ilk olarak Keršulienė ve ark. 2010 tarafından ortaya konulmuştur [27]. SWARA yöntemi, mevcut çevresel ve ekonomik durumları dikkate alan karar vericilere kendi önceliklerini seçme konusunda fırsat tanımaktadır. Ayrıca karar verici olarak belirlenen uzmanların rolü bu yöntemde daha da önemlidir [23]. SWARA yöntemi ile ilgili literatür incelendiğinde birçok problemin çözümünde kullanılmıştır. Bunlar; uyuşmazlık çözümü [24], mimar seçimi [25], optimal mekanik havalandırma alternatifinin seçimi [26], tedarikçi seçimi [27], ürün dizaynı [28], makine parçası seçimi [29], enerjide sürdürülebilirliği değerlendirme göstergeleri [23], personel seçimi [30], yatırım önceliklendirme [23], güneş enerji santrallerinin kurulacağı bölgenin seçimi [31] tedarikçi kümeleme ve sıralama [32], satış şubesi seçimi [33], bölgesel heyelan tehlikesinin değerlendirilmesi [34], ar-ge projesi seçimi [35], işe alınacak maden mühendisi adaylarının seçimi [36], paket tasarımı seçimi [37], personel seçimi [38], sosyal sorumluluk alma düzeylerine göre işletme seçimi [39], otel seçimi [40], ERP sistemi seçimi [41], malzeme seçimidir. [42].Aşağıdaki bölümde çalışmanın temel aldığı kavramsal ve metodolojik çerçeve kapsamıca ele alınacaktır.

3. KAVRAMSAL VE METODOLOJİK ÇERÇEVE (CONCEPTUAL AND METHODOLOGICAL FRAMEWORK)

Yöneticilerin en temel problemi zamanında ve en doğru kararı vermektir. Alt, orta ve üst kademe yöneticileri kısa, orta ve uzun dönemde stratejik ve operasyonel kararlar vermek durumundadır. Doğru ve zamanında karar verebilmek ise, karar vericilere önemli avantajlar sağlamaktadır [43].

Karar verme, karar vericilerin farklı alternatiflerle karşı karşıya bulunduğu durumlarda bu alternatifler arasından amaca en uygun olanını seçmedir [44]. Bir kararın iyi veya kötü olması, muhtemel alternatiflere, erişilebilen verilere ve karar vermek için kullanılan kriterlere bağlıdır [45]. Şekil 1, karar verme sürecini özetlemektedir [46], [47].



Şekil 1. Karar Verme Süreci (Decision Making Process)

Günümüzde gerek bireysel gerekse daha büyük ölçekli kararlar almak durumunda olan insanoğlu, aldıkları kararlarda birden fazla kriteri dikkate alarak hareket etmek durumundadır [48]. Bu çalışmada amaçlanan bulut depolama hizmet sağlayıcıların belirlenen kriterler yardımıyla değerlendirilerek, bu hizmetten yararlanmak isteyenlere yol göstermektir. Bu amaçla, bu bölümde öncelikle değerlendirme kriterlerinden bahsedilecek ve bu değerlendirme kriterlerinin önem düzeylerini (ağırlıkları) belirleyecek çok kriterli karar verme yöntemi olan SWARA yöntemi konusunda bilgi verilecektir. Daha sonra ise, ülkemizde de sıklıkla kullanılan bulut depolama hizmet sağlayıcıların (alternatifler) listesi çıkarılarak, bu alternatifleri değerlendirmede kullanılacak çok kriterli karar verme yöntemi olan COPRAS yöntemi hakkında literatür incelemesi ve yöntemdeki aşamalar aktarılacaktır.

3.1. Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcılarının Değerlendirme Kriterlerinin ve Kriter Ağırlıklandırma Kullanılan Yöntemin Belirlenmesi (Determining the Evaluation Criteria of Cloud Storage Service Providers and the Method Used in Criteria Weighing)

Literatürde Öz Vektör yöntemi, SWARA yöntemi, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) , ANP, Birleşik Analiz, Entropi yöntemi gibi ağırlık belirlemede kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır [28]. Fakat SWARA yönteminin ağırlıklandırma amacı ile literatürde kullanılan diğer yöntemlere nazaran tercih edilmesinin pek çok nedeni bulunmaktadır. Öncelikle SWARA yönteminin basitliği farklı uzmanların aynı anda bir amaç uğruna çalışabilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu ise araştırmacıların zamandan tasarruf edebilmelerini sağlayabilmektedir [26]. AHP ve ANP gibi yöntemlerden farklı olarak ölçütler değerlendirilmeksizin veya sıralanmaksızın işletmelerin ya da ülkelerin önceliklerine göre derecelendirme işlemi gerçekleştirilebilmekte ve uzmanların fikirleri dikkate alındığından SWARA yöntemi daha öznel değerlendirmeler için kullanılabilir [49]. Aynı zamanda SWARA metodunda ağırlıklandırma için kriterler arasında yapılan kıyaslamaların sayısı AHP yöntemine göre daha azdır. Bu ise işlem maliyetini azaltmaktadır. Birleşik Analize kıyasla ise en iyi alternatifin seçilmesi için daha kapsamlı bir prosedürdür [37].

SWARA yönteminin daha kolay uygulanabilir olması, işlem maliyetinin az olması ve karar vericilere öncelikleri belirleme konusunda daha fazla imkân tanınması nedeniyle bu çalışmada kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak tercih edilmiştir.

Bu bölümde öncelikle bulut depolama hizmet sağlayıcılarını değerlendirmede kullanılan kriterler hakkında bilgi aktarılacak; daha sonra değerlendirme kriterlerini ağırlıklandırmada kullanılan SWARA yönteminin literatür incelemesi yapılacaktır.

3.1.1. Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcıları Değerlendirme Kriterleri (Evaluation Criteria of Cloud Storage Service Providers)

En iyi bulut depolama hizmet sağlayıcısının değerlendirilme kriterlerinin belirlenmesinde ilgili literatürden ve uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Bu doğrultuda bulut depolama hizmet sağlayıcıların değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- **Aylık Ücret:** Aynı büyüklükteki depolama alanı için farklı bulut depolama hizmet sağlayıcılarının talep ettikleri ücrettir. Wang ve Lin 2016 kullanıcıların bulut depolama servislerine aylık ücret ödeme isteğinin buluttan elde ettikleri fayda duygusu ile paralel olduğunu belirtmiştir [7]. Shin ve ark. 2014 tüketicilerin bulut depolama hizmeti alırken dikkate aldıkları en önemli değişken aylık ücret olduğunu belirtmiştir [19]. Shine 2016 buluttan yararlanan tüketicilerin en çok aldıkları hizmetin fiyat aralığına ve fiyatın değişken olmamasına dikkat ettiklerini belirtmiştir [50]. Le ve ark. 2014 en iyi bulut depolama hizmeti seçiminde; ulaşılabilirlik, güvenilirlik, ölçeklendirilebilirlik, depolama kapasitesi büyüklüğü, veri transfer hızı, gecikme, sunulan müşteri hizmetleri çeşidi ve müşteri hizmetlerinin sorulara cevap verme hızı kriterlerinin yanı sıra “aylık ücret” değişkenini ele almıştır [20]. Burda ve Teuteberg 2016 bulut depolamada aylık ücret değişkeni; bulut kapasitesi, erişilebilirlik, şifreleme ve müşteri hizmetleri değişkenleri arasında 44,45% ile en önemli kriter olarak belirlenmiştir [22].
- **Dosya Paylaşım Kolaylığı:** Bulut depolama alanına yüklenen belgelerin diğer bireyler ile paylaşım kolaylığıdır. Mohammed ve ark. 2016 gelişmekte olan ülkelerde e-devlet uygulamaları için bulut bilişimin benimsenmesini etkileyen faktörlerden birini bilgi paylaşımı olarak ele almıştır [51]. Bulut depolama servisleri kullanılırken depolama, yedekleme, ortak dosya üzerinde çalışma ve diğer cihazlarla senkronizasyon amaçlarının yanında kullanıcılar tarafından *dosya paylaşımının yapılması* da hedeflenmektedir. Alijani ve ark. 2014 küçük işletmelerin 34%’ünün bulut bilişim ucuz ve güvenilir olduğu için, 32%’inin güvenli bir şekilde verilerini depolayabildikleri için, 17%’inin erişim kolay olduğu için, 17%’inin hızlı ve güvenilir dosya paylaşım olanağı oluşturduğu için bulut bilişime geçmek istediklerini sonucuna ulaşmıştır [52]. Papathanasiou ve ark. 2015 bulut depolama servisi seçiminde en önemli kriterin güvenlik, ikinci en önemli kriterin *dosya paylaşım yeteneği* olduğunu belirtmiştir [21]. Kullanıcılar bulut depolama servislerini 85,9% oranında *dosya paylaşım* amacıyla kullanmaktadırlar [8]. Bu sebeple bulut bilişim tercihinde en önemli değişkenlerden biri olarak *dosya paylaşım kolaylığı* olarak belirlenmiştir. Ancak Gupta ve ark. 2013 bulutun işletme içinde dosya paylaşımı yapabilme özelliği ve aynı dosya üzerinde birden fazla

kullanıcının değişiklik yapabilme yeteneğinin küçük işletmelerin bulut bilişimi benimsemelerini etkilediğine yönelik hipotezi anlamlı bulmamıştır [53].

- **Elastiklik:** Bulut depolama alanlarının ihtiyaca göre aydan aya büyütülebilme ve küçültülebilme özelliğidir. Bulut depolama ödenen miktar kadar kullanılabilmesini sağlayan elastiklik özelliği ile büyüyen bir trend haline gelmiştir. Ramachandran ve ark. 2014 akademik organizasyonlarda projelerin ve ödevlerin son teslim tarihi yaklaştıkça bulut bilişim kullanma oranı arttığını öne sürmüştür [54]. Kullanım orana göre kaynakları arttırmak ve azaltmak bulut bilişimin elastikliği anlamına gelmektedir. Alan yetersizliğinin yaşanmaması bakımından elastiklik özelliği önem taşımaktadır. İşletmeler bulut depolama alanlarını ihtiyaçlarına göre belirlemektedir. Hizmetler kullanım oranına göre faturalandırıldığından işletmedeki kritik işlemlerin durumuna göre maliyetler aydan aya azaltılabilmektedir. Esneklik ve ölçeklenebilirlik özelliklerine göre depolama alanı talep ve ihtiyaçlar doğrultusunda belirlenebilir [1].
- **Güvenlik:** İzin verilmemiş erişimlerin engellenmesi veya depolanan, paylaşılan ya da iletilme aşamasında olan bilginin değiştirilememesi anlamına gelmektedir [51]. Burda ve Teuteberg 2014 son kullanıcının bulut depolama kullanımını benimsemesi için teknoloji kabul modelinden yararlanarak model oluşturmuş ve kullanım kolaylığı ve algılanan fayda arttıkça bulut depolama kullanma niyetinin artarken, risk arttığında bulut depolama kullanma niyetinin azaldığını bulmuştur. Risk ise servis sağlayıcının *güvenilirliği* ile ilişkilidir. Wang ve Lin 2016 *güvenlik* ve mahremiyet ile ilgili olan algılanan hizmet kalitesi değişkeninin bulutun değerli ve yararlı olarak algılanmasını sağladığını bulmuştur [7]. Ali ve ark. 2016; 53% yüzde ile, Alijani ve ark. 2014 ise 32% yüzdeyle *güvenlik* özelliğinin bulut bilişimin benimsenmesinde ele alınan, önemli bir faktör olduğunu öne sürmüşlerdir [4] [49]. Ion ve ark. 2011 kullanıcıların bulut depolama şirketlerine yönelik algılarını ve mahremiyet endişelerini ölçtükleri çalışmalarında, kullanıcıların bulut depolama araçlarını çoğunlukla *güvenlik* ve mahremiyet sebebiyle kullanmadıkları sonucuna ulaşmıştır [55]. Basit bir depolama servisi bireylerin verilerine ulaşmasını sağlamada tutarlı bir ara yüz sunarken, verileri serverların içinde veya arasında güvenli bir şekilde taşıyabilme ve yönetme yeteneği sergileyebilmelidir [56]. Satıcının fırsatçılık yaptığı algısı ve bulut bilişim hakkında yasal belirsizliklerin olduğuna dair oluşan algı, bulut bilişimin güvenlik riskine sahip olduğu algısı ile anlamlı bir ilişkiye sahiptir ve güvenlik riski arttıkça bulut bilişimin benimsenmesi o denli zorlaşmaktadır [57].
- **İşletim Sistemleri ile olan Uyum:** Bulut depolama Windows, IOS ve Linux gibi farklı işletim sistemlerinde benzer sonuçları vererek sistemlerden maksimum faydanın alınmasını sağlamaktadır. Papathanasiou ve ark. 2015 kullanıcıların genellikle

Windows işletim sistemi kullandıklarını ancak Linux ve benzeri işletim sistemleri kullanan bireyler için bu değişkenin önem arz ettiğini belirtmiştir [21]. Pocatilu ve ark. 2013 kullanılan işletim sistemine bağlı olarak, mobil uygulamaların senkronizasyonunun yapılabilmesi için en iyi bulut depolama uygulamasının seçimini yapmıştır [3]. Çalışmada aynı zamanda işletim sistemleri ile bulut depolama sağlayıcılarının karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Buna göre; en çok kullanılan bulut sağlayıcılardan Dropbox; Android, Blackberry ve IOS'ta bulunurken, Windows Phone'da yer almamaktadır. Box Blackberry'de bulunmamaktadır. Google Drive uygulaması; Windows Phone, IOS ve Blackberry'de bulunmamaktadır. Icloud; Android, Windows Phone, Blackberry'de bulunmamaktadır.

- **Mobil Uygulama Kullanım Kolaylığı:** Son kullanıcıların bulut depolama hizmetlerinin sunduğu ve bilgisayar üzerinde yapabildiği tüm işlemleri mobil uygulamalarda kolaylıkla gerçekleştirilebilmesidir. Tüketiciler verilerini depolamak amacıyla sanal bir ortam hayal etmekte ve mobil cihazlarının bulut platformuna ulaşabilme kabiliyetine önem vermektedirler. Her yerden erişebildikleri bu sanal ortam kişinin bulunduğu alandan bağımsızdır ve mobil cihazlarından bu ortama ulaşmak tüketiciler için oldukça önemlidir [56]. Shin ve ark. 2014 mobiliteye önem veren tüketicilerin bulut hizmetlerini taşınabilir cihazlarında kullanmak istedikleri sonucuna ulaşmıştır [19]. Aynı zamanda mobil bulut uygulamaları verilerini yedekleme konusunda tembel olan kişiler için faydalıdır.
- **Müşteri Hizmetleri:** Son kullanıcıların bulut depolama hizmetlerinde tecrübe ettikleri herhangi bir problemi iletebilecekleri çeşitli merciiilerin varlığı, sayıları ve nitelikleridir. Müşteri hizmetleri üç düzeyde incelenebilmektedir. Basit seviye müşteri desteği; sık sorulan sorular, yardım belgeleri ve öğretici videoları içermektedir. Genişletilmiş düzeyde müşteri hizmetleri oluşan sorunlara e-posta veya web üzerinden formlar yoluyla çözümler bulunmasına işaret etmektedir. Canlı web desteği, olası problemlere karşı 7/24 anında sohbet (chat) veya telefon desteği yoluyla cevap bulunmasını ifade etmektedir. Burda ve Teuteberg 2014 *müşteri hizmetleri* değişkenini en az önemli değişken olarak bulunmuştur [22]. Le ve ark. 2014 verilen depolama alan hacminin, *müşteri hizmetlerinden* (hizmet sağlayıcının kullanıcıların e-posta ve chat yoluyla sordukları sorulara dönüş hızından) daha önemli olduğu sonucuna ulaşmıştır [20].
- **Senkronizasyon Hızı:** Bulut depolama alanında yedeklenmek istenen belgelerin tamamen yüklenebilmeleri için gereken süre/ geçen zamandır. Veri yükleme ve paylaşma istenilen yer ve zamanda kablosuz cihazlar ile yapılmaktadır. Bir dosya üzerinde değişiklik yapıldıktan sonra bulut bilişime yüklendiğinde, dosya paylaşma hazır hale gelmekte ve pek çok cihazdan aynı bilgiye ulaşılabilir. Ancak bulut bilişimde veri paylaşma ve

senkronizasyon işlemleri kablolu cihazlara nazaran daha güçtür. Bulut bilişim; internet bağlantısının kalitesinden veya hareketlilikten kaynaklanan gecikmeler ve veri kayıpları sebebiyle güçlük çekmektedir. Bu nedenle tüm cihazlardaki eşleme işlemlerinin kalitesi bulut bilişimin tercihinde önem arz etmektedir [58].

- **Ücretsiz Depolama Alanı:** Bulut depolama hizmet sağlayıcılarının sunabildikleri maksimum ücretsiz depolama alanının büyüklüğüdür (GB cinsinden). Geçmişten günümüze dosya boyutları artmış ve multimedya dosyaları artık daha büyük bir alan işgal etmektedir [21]. Bu nedenle ücretsiz depolama alanı kriteri bulut depolama şirketleri tercihinin yapılmasında öncelikle dikkate alınan kriterlerden biridir. Shin ve ark. 2014 tüketicilerin bulut depolama hizmeti alırken dikkate aldıkları en önemli ikinci durumun bulut depolama hizmetlerinin sundukları ücretsiz depolama alanı olduğunu ileri sürmüştür. Çoğu servis sağlayıcı büyük depolama alanları için ücretleme yapmadan önce kullanıcılara bedava alan sağlamaktadır [59].
- **Üçüncü Parti Uygulamalarla Entegrasyon:** Bulut depolama hizmet sağlayıcılarının fonksiyonlarını ve yeteneklerini arttırabilecek çeşitli uygulamalar ile işbirliği yapmasıdır. Pek çok bulut depolama hizmeti, üçüncü parti uygulamaların güçlü uygulama ara yüzleri ile veri depolarken sunucun üzerindeki yönetim yükünün azalmasını sağlamaktadır [58]. Birinci parti; bulutun kendi içinde bulunan ve izinli olan uygulamalar, ikinci parti bazı sponsorluk durumlarında bulunan uygulamalar (youtube, twitter ile entegrasyonu gibi) ve üçüncü parti ise üçüncü tarafların yetkileri ile erişimin sağlandığı uygulamalardır. Çeşitli uygulamaların bulut depolama hizmetleri ile uyumlu çalışabilmesi bulutun *üçüncü parti uygulamalarla entegrasyonu* anlamına gelmektedir. Örneğin; Microsoft Office programları bulut depolama servislerinden Icloud'a veya Dropbox'a vb. yüklenebilmekte, görüntülenebilmekte, üzerinde düzeltme yapılabilmekte ve link yoluyla paylaşılmaktadır. Benzer şekilde Google Drive'da bulunan "Translate for Drive" uygulaması ile kopyala yapıştır yapmadan metnin tamamen çevrilebilmesi veya "Duplicate File Finder" uygulaması ile aynı dosya bir seferden daha fazla kaydedildiyse bunun tespitinin sağlanabilmesi bulutun üçüncü parti uygulamalar ile entegrasyonun olduğu anlamına gelmektedir. Kısacası üçüncü parti uygulamalar bulutun fonksiyonlarının ve yeteneklerinin arttırılmasını sağlamaktadır. Üçüncü parti uygulamalara bazı erişim yetkileri verildiğinden bu durum zaman zaman güvenlik riski doğurabilmektedir. Sürekli erişim yetkisini elde etmiş 3. parti uygulamalar istedikleri zaman duruma göre e-postaları okuyabilir, dosyaların içeriğine ulaşabilir ve sosyal profilleri tümüyle tarayıp indeksleyebilmektedir.
- **Web Üzerindeki Kullanım Kolaylığı:** Son kullanıcıların bulut depolama hizmetlerinin sunduğu

tüm işlemleri internet bağlantısının olduğu herhangi bir bilgisayarda kolaylıkla yürütebilmesi Kullanım kolaylığı kullanıcıların büyük çaba sarf etmeden bulut depolama sistemlerini kullanımına işaret etmektedir. *Kullanımın kolay olması* bulut depolama sisteminin daha faydalı olarak algılanmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda bulut sağlayıcının tanınırlığı sistemin kullanımının kolay olarak algılanmasına sebep olmaktadır [8]. Gupta ve ark 2013 bulut bilişimin benimsenmesine yardımcı olan faktörlerin; maliyetleri azaltması, paylaşımına ve işbirliğine imkân tanınması,

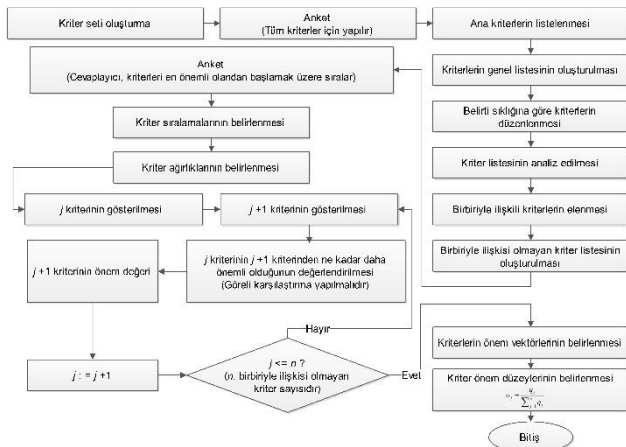
hizmet sağlayıcının güvenilirliği, güvenlik, gizlilik ve *kullanım kolaylığı* olduğunu ileri sürmüştür [53]. Papathanasiou ve ark. 2015 ise *kullanım kolaylığı değişkeninin*; güvenlik protokolü, dosya paylaşım yeteneği/hızı, tek seferde maksimum yüklenebilecek dosya boyutu, sunulan bedava depolama alanı ve işletim sistemleri ile desteklenme faktörlerinin arasında en az ağırlıklandırılmış değişken olarak kabul edildiğini belirtmiştir [21].

Tablo 2. Kriterlere Dair Bilgiler (Information About Criteria)

Aylık Ücret	Aynı büyüklükteki depolama alanı için farklı bulut depolama hizmetleri sağlayıcılarının talep ettikleri ücret [7], [19], [20]
Dosya Paylaşım Kolaylığı	Bulut depolama alanına yüklenen belgelerin diğer bireyler ile paylaşım kolaylığı [21]
Elastikiyet	Bulut depolama alanlarının ihtiyaca göre aydan aya büyütülebilme veya küçültülebilme özelliği [1]
Güvenlik	İzin verilmemiş erişimlerin engellenmesi veya depolanan, paylaşılan ya da iletilme aşamasında olan bilginin değiştirilememesi [22], [55]
İşletim Sistemleri İle Olan Uyum	Windows, IOS, Android ve Linux gibi farklı işletim sistemlerinde benzer sonuçları vererek sistemlerden maksimum faydanın alınması [3], [21]
Mobil Uygulama Kullanım Kolaylığı	Son kullanıcıların bulut depolama hizmetlerinin sunduğu ve bilgisayar üzerinde yapabildiği tüm işlemleri mobil uygulamalarda kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi [9], [19]
Müşteri Hizmetleri	Son kullanıcıların bulut depolama hizmetlerinde tecrübe ettikleri herhangi bir problemi iletebilecekleri çeşitli mercülerin varlığı, sayıları ve nitelikleri [22]
Senkronizasyon Hızı	Bulut depolama alanında yedeklemek istenen belgelerin tamamen yüklenebilmeleri için gereken süre/geçen zaman [20]
Ücretsiz Depolama Alanı	Bulut depolama hizmet sağlayıcılarının sunabildikleri maksimum ücretsiz depolama alanının büyüklüğü (GB cinsinden) [20], [22]
Üçüncü Parti Uygulamalar ile Entegrasyon	Bulut depolama hizmet sağlayıcılarının fonksiyonlarını ve yeteneklerini arttıracak çeşitli uygulamalar ile işbirliği yapması [58]
Web Üzerinde Kullanım Kolaylığı	Son kullanıcıların bulut depolama hizmetlerinin sunduğu tüm işlemleri internet bağlantısının olduğu herhangi bir bilgisayarda kolaylıkla yürütebilmesi [21]

3.1.2. SWARA (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) Yöntemi (SWARA - Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis Method)

SWARA yönteminin uygulanma sırası Şekil 2 'de özetlenmektedir. Şekil 2'de, SWARA yöntemi ile yapılan kriter ağırlıklandırma işleminin geniş çaplı iş akışı görülebilir. Yöntemde değerlendirmeye alınacak kriterlerin (Şekil 1'deki "Birbirleriyle ilişkisi olmayan kriter listesinin oluşturulması" adımı) belirlenmesi durumunda ise, aşağıda yer alan 5 adımda kriter ağırlıkları belirlenebilmektedir.



Şekil 2. SWARA Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi (Determination of Criteria Weights Using SWARA Method) [25]

Adım 1: Kriterler en önemliden başlamak üzere sıralanır.

Adım 2: İkinci kriterden başlayarak, her bir kriter için göreceli önem düzeyleri belirlenir. Bunun için, j kriteri ile bir önceki kriter ($j-1$) karşılaştırılır. Kerşulienè ve ark. (2010) bu orana "ortalama değerin karşılaştırmalı önemi" olarak adlandırmış ve s_j simgesi ile göstermişlerdir [24].

Adım 3: Katsayı (k_j) aşağıdaki eşitlikle belirlenir:

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Adım 4: Önem vektörü q_j , aşağıda yer alan eşitlikle hesaplanır:

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{x_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

x_{j-1} notasyonu q_{j-1} 'e işaret etmektedir.

Adım 5: Kriterlere ait ağırlıkların (w_j) hesaplama işlemi ise, aşağıdaki eşitlikle sağlanır:

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (3)$$

w_j , j kriterinin göreceli önemini göstermektedir

3.1.3. Uzmanların Konu Üzerindeki Yetkinlik Dereceleri (Competency Grades on Subject of Experts)

Uzmanların yetenekleri, özellikleri ve nitelikleri çok değişkenli karar verme yöntemleri ile ortaya konulan sonuçların kalitesini arttıran önemli bir olgudur [41]. Çalışmadaki tüm uzmanlar bulut depolama uygulamaları hakkında yeterli ve kapsamlı bilgiye sahiptir. Bu çalışmada uzmanlardan iki ayrı bölümde yardım istenmiştir. Öncelikle kriterlerin ağırlıklandırılması ve devam eden bölümde ağırlıklandırılan kriterler ışığında alternatiflerin seçilmesidir.

Tablo 3. Uzmanlara Dair İstatistikler (Statistics About Experts)

Uzmanlık	Eğitim Düzeyi	Uzman Sayısı
1) Bilişim Sistemleri	Doktora	6
	Yüksek Lisans	2
2) Belediye Bilgi İşlem Birimi Sorumlusu	Yüksek Lisans	1
	Lisans	1

3.2. Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcıların Tespit Edilmesi ve Değerlendirme Yönteminin Belirlenmesi (Determination of Cloud Storage Service Providers and Evaluation Method)

Çok değişkenli karar verme problemlerde bir seçeneğin etkinliğini tümüyle değerlendirebilmek için en önemli seçenek (alternatif) belirlenmelidir. Seçenekleri ve belirlenen kriterler ışığında oluşan bilgiyi değerlendirmek ve dahası karar vericinin gereksinimlerini karşılayacak kararlılıkta ve uygunlukta yöntemler geliştirmek gereklidir. Gerçek hayat örnekleri genellikle değerlendirme kriterlerinin belirsizlikleri ve kriter ağırlıklarının kesin olarak ortaya konulamayışı problemleri ile mücadele etmektedir [60]. Bizim örneğimizde literatürden yararlanılarak oluşturulmuş bir kriter grubu kullanılmaktadır. COPRAS yöntemi belirli kriterlerin yol göstericiliği ile optimal bir değerlendirme yapmakta sıklıkla tercih edilen bir metottur.

Bulut depolama hizmet sağlayıcıları, bedava depolama alanı veren şirketler arasında seçilmiş ve Türkiye’de en çok bilinen ve kullanılan bulut depolama hizmet sağlayıcıları tercih edilmiştir. Bulut bilişim hizmet sağlayıcılarına ilişkin değerlendirmeler, bu hizmetleri

daha önce kullanmış ve hizmetlere aşina olan kişiler aracılığı ile yapılmıştır. Literatürde Analitik Hiyerarşi Prosesi, Analitik Ağ Prosesi, TOPSIS, VIKOR, Gri İlişkisel Analiz, PROMETHEE, ELECTRE, MACBETH, Veri Zarflama Analizi, COPRAS vb. birçok çok kriterli karar verme yöntemine rastlamak mümkündür.

Bu çalışmada da, bulut depolama hizmet sağlayıcıların değerlendirmesinde COPRAS yöntemi tercih edilmiştir. Bu alt başlıkta, öncelikle 2016 yılı itibarıyla ülkemizde sıklıkla kullanılan ve bilinen bulut depolama hizmet sağlayıcıları ile bulut depolama hizmet sağlayıcılarını değerlendirmede kullanılacak COPRAS yöntemi hakkında bilgiler verilmiştir.

3.2.1. Günümüzde Sıkça Kullanılan Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcıları (Frequently Used Cloud Storage Service Providers at the Present Time)

Box depolamada herhangi tipteki bir dosya depolanabilmekte ve tüm dosyalara bilgisayar, telefon ve tableten istenilen zaman ve yerden erişim sağlanabilmektedir. Dosyalar eposta yoluyla bir link ile paylaşılmaktadır. Dosyalar Box’ta ön izleme yoluyla görülebilmektedir. Box dosyanın her sürümünü kaydetmektedir ve sürüm geçmişi özelliği yardımıyla istenilen noktada dosyalar kurtarılabilir. Box edit ile uygun uygulama kullanılarak dosyalar oluşturulabilmekte veya dosyalar üzerinde değişiklik yapılabilmektedir. Değişiklikler doğrudan box üzerine kaydedilmektedir. Paylaşılan dosyaya geri bildirim vermek için yorum yapılabilmekte, @ işareti ile bahsedilen kişiye haber verilmektedir. Box’ın masaüstü uygulaması ile kolaylıkla dosya depolaması yapılabilmektedir. Android, iOS, Windows veya Blackberry için Box ile belgelere her yerden güvenli bir şekilde erişilmektedir. Box kullanıcılarına 10GB bedava alan tanımlanmaktadır. Tek seferde 250MB büyüklüğünde dosya yüklenebilmekte ve paylaşılabilir. Box her zaman en son sürümüne bağlantı vereceğinden yapılan yazım hatalarını hiç kimse görmeden düzeltme imkânı vermektedir. 2005 yılında kurulan Box, 41 milyon bireysel kullanıcı ve 59%’u Fortune 500’de olan 59 000 işletme tarafından kullanılmaktadır [61].

Google Drive ilk etapta 15GB’lık ücretsiz depolama alanı sunmaktadır. Buluttaki dosyalara telefon, tablet veya bilgisayardan erişilebilmektedir. Depolama alanına ihtiyaç duyuldukça daha büyük bir bulut depolama alanı satın alınabilmektedir. Gmail ile uyumludur. Gmail’den gelen bir mailde ek dosyasının üzerindeki Drive logosuna tıkladığında, belgeler kaydedilebilir ve paylaşılabilir bir hale gelir. Drive arama çubuğunda bir kelime aratıldığında o kelimeyi içeren dokümanlar bulunduğu gibi kelimeyi ifade eden resimler de bulunabilmektedir. Resimleri düzeltme imkânı tanınmaktadır. E-tablolar anketler ve slaytlar kolaylıkla paylaşılabilir. Dokümanların resimleri çekildiğinde drive bunları PDF e çevirerek saklama özelliğine sahiptir. 100’ün üzerinde drive uygulaması ile dosyalar üzerinde işlem

yapılabilmektedir. Dosyalar çevrimdışı kullanılabilir hale getirildiğinde internetin olmadığı alanlarda çevrimdışı olarak kullanılabilir. Dosya üzerinde son 1 ay içinde yapılan değişiklikler izlenebilmektedir. Drive SSL güvenlik protokolüyle şifrelenmektedir [15].

Iphone ve Ipadlerde IOS tüm dosyaları otomatik olarak **Icloud Drive**'da saklamaktadır. Bu özelliğe Icloud ile çalışan tüm uygulamalarda oluşturulan belgeler de dâhildir. Icloud Drive ile depolama alanından tasarruf edilmesi sağlanmaktadır. Tüm cihazlardaki belgeler Icloud'da birlikte saklanarak belgelere kolaylıkla erişim sağlanmaktadır. Bir belgede yapılan değişiklikler otomatik olarak tüm cihazlarda güncellenmektedir. Iphone'lar Fotoğraf arşivi ile çekilen her fotoğraf ve video otomatik olarak Icloud'da saklanmaktadır. Bu sayede cihazlarda daha fazla alan kazanılmış olmaktadır. Icloud kullanıcılarına 5GB ücretsiz depolama alanı sağlamaktadır. Aygıt sarjı olduğu ve Wifi ağına bağlı olduğu müddetçe otomatik yedekleme yapmaktadır. Notlar uygulaması tüm Icloud ile birlikte çalıştığından en son eklenen notlar tüm cihazlardan görülebilmektedir. Icloud'da gizlilik oldukça önemlidir. Tüm içerikler şifrelendiği gibi, sunucularda depolanırken de şifrelenmektedir. Bilgi depolama amacıyla üçüncü taraflarla çalışıldığında ise şifreler paylaşılmaz. İki faktörlü kimlik doğrulama işlemi, güvenli işlemler yapılmasına yardımcı olmaktadır [15].

Dünyanın dört bir yanındaki 500 milyon insan **Dropbox**'ı kullanmaktadır. Dropbox, kullanımı kolay ve güvenliği yüksek bir bulut olarak nitelendirilmektedir. Dropbox kullanıcılarına başlangıçta 2GB bedava depolama alanı sunmaktadır. Ancak bu alanın Dropbox'a fan maili atarak veya arkadaşlar Dropbox'a davet edilerek ve daha fazla kişinin katılımını sağlanarak ücretsiz bir şekilde arttırılabilme imkanı bulunmaktadır. Fotoğraflar, müzik dosyaları, PDF, ofis programları ve daha pek çok çeşitte dosya kaydedilerek, tüm dosyalara PC, Mac, Android, Ipad, Iphone, Windows Phone gibi aygıtlardan ulaşım sağlanmaktadır. Dropbox üst sürümlerinde dosyalara offline olarak da ulaşılabilir. Dosya paylaşımı basit bir link ile gerçekleşmektedir. Bu link ile Dropbox hesabı olmayan kişilerle de dosya paylaşımı yapılabilmektedir. Aynı zamanda dropbox hesabı olmayan kişiler de "dosya yüklemeye davet" edildikleri zaman davet edildikleri hesaba belge yükleyebilmektedir. Fotoğraflar otomatik olarak yedeklenebilmektedir. Dropbox'a bir dosya yüklendikten sonra dosyaya birden fazla kişi eklenebilir. Bu özellik vasıtasıyla dosya üzerinde değişiklik yapıldığında tüm üyeler tarafından görülebilecektir. Aynı zamanda üyeler dosyalara yorum yapabilecektir. Bu ise belgeyi mail atma, düzenleme ve tekrar mail atma gibi yorucu aşamalardan feragat edilebilmesini sağlamaktadır. Dropbox'ın olaylar bölümü ile hesapta gerçekleşen son hareketler izlenebilmektedir. Aynı zamanda silinen dosyalar 30 güne kadar korunabilmektedir [15].

Yandex.Disk, Yandex sunucularında dosya depolanmasını sağlayan bir servistir. Disk'te bulunan dosyalarla internete bağlı herhangi bir cihazdan çalışılmaktadır. Yandex.Disk'e web üzerinden, masaüstü Yandex.Disk programıyla ve Yandex.Disk mobil uygulaması ile erişilebilmektedir. Başkaları kullanıcıyla dosya paylaştığında "Yandex.Disk'ime kaydet" seçeneği ile dosya Yandex.Disk'e yüklenebilmektedir. Yandex.Disk'te "sosyal ağlardan fotoğraflar" seçeneğiyle (facebook, instagram, Google+, vk gibi) sosyal ağlarda bulunan fotoğraflar da Yandex.Disk'e yüklenebilmektedir. Benzer şekilde Yandex.Disk'te bulunan bir veya birkaç fotoğraf aynı anda "sosyal ağlara yükle" seçeneği ile sosyal ağlara yüklenebilmektedir. "Paylaşılan klasör oluştur" seçeneği ile dosya davet edilen kişilerin Disk'inde oluşacaktır. Tam erişimdeki kişiler klasöre dosya ekleyebilmekte, yüklenen dosyaları düzenlemektedir. Ancak davet edilen kişinin Yandex.Disk hesabının olması gerekmektedir. Sadece görüntüle seçeneği ile paylaşılan kişilerin sadece dosyayı görebilmesi sağlanmaktadır. Klasörde herhangi bir değişiklik yapıldığında tüm kullanıcılara bildirim gitmektedir. Mobil uygulamalar aracılığı ile paylaşma seçeneğinde ise belgeler kısa mesaj veya eposta yoluyla veya bağlantının kopyalanması seçeneği ile paylaşılabilir. Yandex.Disk ile ekran görüntüleri alınarak düzenlenebilmekte ve onlar için ayrılmış alana kaydedilmektedir. Akıllı telefon, fotoğraf makinesi, hafıza kartı veri taşıyıcıları ile bilgisayara bağlanıldığında dosyalar "kameradan yüklenenler" klasörüne otomatik olarak yüklenmektedir. Yandex arama çubuğunda yapılan aramalar sonucunda bulunan görseller, "kaydet" seçeneği ile Yandex.Disk'e kaydedilebilmektedir. "Geçmiş" bölümünde Yandex.Disk'te tüm gerçekleşen işlemlere dair bilgiler silinseler dahi yer almaktadır [15].

Microsoft OneDrive Window10'da yüklüdür ve tüm cihazlarla uyumlu çalışmaktadır. PC, MAC, Android, IOS'tan dosya ve fotoğraflar yedeklenebilmekte ve paylaşılabilir. Belge ve fotoğrafların otomatik olarak kaydedilmesini, kaydedilen fotoğrafların düzenli ve aranabilir bir şekilde saklanmasını sağlamaktadır. OneDrive buluttaki tüm PDF dosyalarında vurgulama, çizim yapma ve imzalama işlemleri yapabilmeye imkân tanımaktadır. Bir belgenin ne zaman ve kim tarafından düzenlendiğini gerçek zamanlı bildirimler ile haber verir. Bireysel kullanımda 5GB alan ve yalnızca depolama hakkı tanımaktadır. OneDrive'a bir seferde 10GB'tan daha büyük dosyalar kaydedilememektedir. Silinen OneDrive dosyaları "Geri Dönüşüm Kutusu" ile geri getirilebilmektedir. Dosyalar mail ve bağlantılar yoluyla ve sosyal ağlarda link ile paylaşılabilir [15].

3.2.2. COPRAS Yöntemi (COPRAS Method)

Bir alternatifin genel verimliliğini değerlendirmek amacıyla, öncelikle seçim kriterlerini belirlemek, bu kriterlere ilişkin bilgiye ulaşmak ve son olarak bunları değerlendirmek için yöntem geliştirmek gerekmektedir. Karar analizleri, karar vericilerin bir kısım kriterleri

dikkate alarak çeşitli alternatifler arasından seçim yapma durumları ile ilişkilidir. Bu sebeple COPRAS (Complex Proportional Assessment) yöntemi, Zavadskas ve Kaklauskas (1996) tarafından Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesindeki araştırmaları sonucunda alternatiflerin seçiminde etkili bir yöntem olarak literatüre kazandırılmıştır [62]. Kriterlerin önem ve fayda derecelerini dikkate alan yöntem, alternatifleri sıralama ve değerlendirmede kullanılmaktadır [63]. Müteahhit seçimi [64]; yatırım projelerinin seçimi [65]; teknik enstitülerinin performans ölçümü [66]; imalat işletmelerinde kullanılan eksantrik alternatiflerinin karşılaştırılması [67]; yüksek teknolojlili endüstrilerde yatırım önceliklendirmesi [68]; kömür işletmelerinin performans değerlendirilmesi [63]; otel seçimi [69]; yeşil tedarikçi seçimi [70], proje seçimi [71], yazılım seçimi [72] gibi birçok çalışmada COPRAS yöntemi ile çözümler sunulduğunu görmek mümkündür.

COPRAS yöntemi de diğer çok kriterli karar verme yöntemleri gibi belli adımlar takip edilerek yürütülmektedir. COPRAS yönteminin adımları literatürdeki bazı notasyon farklılıkları nedeniyle, kısmen değişiklik yapılarak aşağıdaki şekilde sıralanmıştır [67], [73], [74].

Adım 1: m sayıda alternatif (i) ve n sayıda değerlendirme kriteri (j) belirlenir.

Adım 2: Kriterler dikkate alınarak her bir alternatifin değerlendirmesi yapılır ve Eşitlik 4'te yer alan karar matrisine ulaşılır (C_j : Kriterler; w_j : Kriter Ağırlıkları; A_i : Alternatifler; x_{ij} : j . kriterine göre i . alternatifinin değeri olmak üzere, $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ve $j = 1, 2, 3, \dots, n$).

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & \cdot & C_n \\ w_1 & w_2 & w_3 & \cdot & w_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \cdot \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdot & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdot & x_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

Adım 3: Karar matrisi D 'nin normalizasyon işlemi Eşitlik 5 yardımıyla yapılır. Böylece Eşitlik 6'daki normalize edilmiş karar matrisine ulaşılır (C_j : Kriterler; w_j : Kriter Ağırlıkları; A_i : Alternatifler; \tilde{x}_{ij} : j . kriterine göre i . alternatifinin normalizasyon değeri olmak üzere, $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ve $j = 1, 2, 3, \dots, n$).

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (5)$$

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & \cdot & C_n \\ w_1 & w_2 & w_3 & \cdot & w_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \cdot \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \tilde{x}_{13} & \cdot & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \tilde{x}_{23} & \cdot & \tilde{x}_{2n} \\ \tilde{x}_{31} & \tilde{x}_{32} & \tilde{x}_{33} & \cdot & \tilde{x}_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \tilde{x}_{m3} & \cdot & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6)$$

Adım 4: Bu adımda normalize edilmiş \tilde{D} karar matrisindeki her bir sütuna ait değerlerin, SWARA yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları ile çarpılması sonucunda ağırlıklandırılmış karar matrisi D^* 'ye ulaşılır ($d_{ij} = \tilde{x}_{ij} \otimes w_j$) (C_j : Kriterler; A_i : Alternatifler; d_{ij} : j . kriterine göre i . alternatifin ağırlıklandırılmış normalizasyon değeri olmak üzere, $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ve $j = 1, 2, 3, \dots, n$).

$$D^* = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & \cdot & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \cdot \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \cdot & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \cdot & d_{2n} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & \cdot & d_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \cdot & d_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (7)$$

Adım 5: Bu adımda kriterlerin faydalı (maksimize) ve faydasız (minimize) olarak nitelendirilmesi yapılır. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki faydalı kriterler, sütunlarda öne çekilir. k 'inci kriter kadar faydalı kriterler sütunlara yerleştirilir. $(k+1)$ 'inci kriter ilk faydasız kriter olmak üzere; n 'inci kriter kadar tüm faydasız kriterler de sütunlarda gösterilir. $(n - k)$ minimize etmeyi arzuladığımız faydasız kriter sayısını verecektir [66].

$$D^* = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_{max1} & C_{max2} & \cdot & C_{maxk} & \cdot & C_{min(k+1)} & \cdot & C_{minn} \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \cdot \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdot & d_{1k} & \cdot & d_{1(k+1)} & \cdot & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdot & d_{2k} & \cdot & d_{2(k+1)} & \cdot & d_{2n} \\ d_{31} & d_{32} & \cdot & d_{3k} & \cdot & d_{3(k+1)} & \cdot & d_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdot & d_{mk} & \cdot & d_{m(k+1)} & \cdot & d_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (8)$$

Adım 6: Faydalı kriterler için ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı (S_{i+}) ile faydasız kriterler için ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı (S_{i-}) bulunur. S_{i+} ve S_{i-} değerlerinin hesaplama adımları,

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^k d_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (9)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=(k+1)}^n d_{ij}, \quad j = k+1, k+2, \dots, n \quad (10)$$

şeklinde dir.

Adım 7: Her bir alternatife ait göreceli önem ağırlığı (Q_i) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$Q_i = S_{i+} \oplus \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \otimes \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (11)$$

Adım 8: Alternatifler arasında en yüksek göreceli önem değerine sahip olan alternatif, en iyisi olarak seçilecektir.

$$Q_{maks} = maks\{Q_i\}, i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

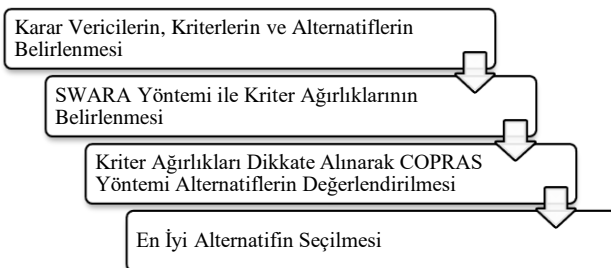
Adım 9: Her bir alternatifin P_i olarak simgelenen performans indeksi hesaplanır. Performans indeksi değeri 100 olan alternatif en iyi alternatiftir [75]. Tüm alternatifler performans indeksi değerlerine göre sıralanarak, tercih sıralamasına ulaşılır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{maks}} \otimes \%100 \quad (13)$$

3.3. SWARA - COPRAS Yöntemlerinin Bütünleştirilmesi (Integration of SWARA and COPRAS Method)

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin bütünleşik hale getirildiği çok sayıda çalışmaya literatürde karşılaşmak mümkündür. Çalışmalardaki ortak yapı genel anlamda şu şekildedir: çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, Entropi, SWARA vb. yöntemler ile değerlendirme kriterlerinin önem düzeyleri (ağırlıkları) ortaya konulmakta; TOPSIS, VIKOR, COPRAS, Gri İlişkisel Analiz gibi farklı bir çok kriterli karar verme yöntemi ile de alternatiflerin değerlendirilmesi yoluna gidilmektedir.

Bu çalışmada da çok kriterli karar verme yöntemlerinden SWARA yöntemi ile kriter ağırlıkları tespit edilecek; COPRAS yöntemi ile alternatifler değerlendirilecektir. SWARA - COPRAS yöntemlerinin özet haldeki bütünleştirme işlemi, Şekil 3'teki adımlar izlenerek yürütülmüştür.



Şekil 3. SWARA - COPRAS Bütünleştirme Aşamaları (Integration Phases of SWARA and COPRAS Method)

4. UYGULAMA (APPLICATION)

Bu çalışmada, ülkemizde özellikle bilişim uzmanlarınca bilinen ve sıklıkla kullanılan altı bulut depolama sağlayıcısının SWARA temelli COPRAS yöntemi ile değerlendirilerek, en iyi bulut depolama sağlayıcısının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın uygulamasında öncelikle kriter ağırlıkları SWARA yöntemi kullanılarak tespit edilmiş, daha sonra COPRAS yöntemi ile alternatif altı bulut depolama hizmet sağlayıcısının değerlendirme işlemi yapılmıştır.

4.1. Kriterlerin SWARA Yöntemi ile Ağırlıklandırılması Aşaması (Weighing Criteria with SWARA Method)

Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcı firmaların değerlendirilmesinde kullanılan kriterler Tablo 4'de özet halde sunulmuştur.

Tablo 4. Bulut Depolama Değerlendirme Kriterleri (Cloud Storage Evaluation Criteria)

C ₁	Aylık Ücret
C ₂	Dosya Paylaşım Kolaylığı
C ₃	Elastikiyet
C ₄	Güvenlik
C ₅	İşletim Sistemleri ile olan Uyumu
C ₆	Mobil Uygulama Kullanım Kolaylığı
C ₇	Müşteri Hizmetleri
C ₈	Senkronizasyon Hızı
C ₉	Ücretsiz Depolama Alanı
C ₁₀	Üçüncü Parti Uygulamalarla Entegrasyon
C ₁₁	Web Üzerindeki Kullanım Kolaylığı

Tablo 4'teki değerlendirme kriterlerinin önem düzeylerinin belirlenebilmesi için, on karar verici belirlenmiştir. Öncelikle, SWARA yönteminin ilk adımı olan kriterlerin en önemliden en az önemliye sıralanması işlemi her bir karar verici tarafından ayrı ayrı yapılmıştır. Sıralama sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir. Tabloya göre, karar verici 1 (KV₁) için en önemli kriterin "C₄ - Güvenlik" kriteri olduğu görülebilmektedir.

Tablo 5. Karar Vericilere Göre Kriter Sıralamaları (Criteria Rankings by Decision Makers)

	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	KV ₅	KV ₆	KV ₇	KV ₈	KV ₉	KV ₁₀
C ₁	3	5	1	3	11	10	11	5	2	11
C ₂	8	4	4	11	3	4	3	4	6	9
C ₃	9	6	11	7	9	8	5	2	7	3
C ₄	1	1	2	1	2	3	2	1	1	1
C ₅	6	10	9	6	4	5	7	6	8	6
C ₆	7	7	7	9	8	6	6	7	11	5
C ₇	10	11	10	4	10	11	10	8	3	10
C ₈	4	8	5	5	1	2	1	3	4	4
C ₉	2	2	3	2	6	1	4	10	9	8
C ₁₀	11	9	8	8	5	7	8	9	5	2
C ₁₁	5	3	6	10	7	9	9	11	10	7

Tablo 2'de yer alan kriterler en önemli olanı ilk sırada olmak üzere, Tablo 6'teki gibi sıralanmış ve ikinci kriterden itibaren her bir kriter için göreceli önem düzeyleri (s_j) karar vericiler tarafından ayrı ayrı belirlenmiştir.

Örneğin, karar verici 1 için C_4 kriteri ile C_9 kriteri arasında karşılaştırmalı önem düzeyi 0,60'dır.

Tablo 6. Kriterlerin Karar Vericiler Düzeyinde Karşılaştırmalı Önemi (Comparative Importance of Criteria by Decision Makers)

Önem Sırası	KV ₁		KV ₂		KV ₃		KV ₄		KV ₅		KV ₆		KV ₇		KV ₈		KV ₉		KV ₁₀	
	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j
1	C ₄		C ₄		C ₁		C ₄		C ₈		C ₉		C ₈		C ₄		C ₄		C ₄	
2	C ₉	0,60	C ₉	0,90	C ₄	0,70	C ₉	0,20	C ₄	0,40	C ₈	0,15	C ₄	0,20	C ₃	0,20	C ₁	0,20	C ₁₀	0,10
3	C ₁	0,50	C ₁₁	0,20	C ₉	0,50	C ₁	0,00	C ₂	0,30	C ₄	0,30	C ₂	0,15	C ₈	0,15	C ₇	0,25	C ₃	0,20
4	C ₈	0,30	C ₂	0,10	C ₂	0,60	C ₇	0,10	C ₅	0,15	C ₂	0,40	C ₉	0,30	C ₂	0,40	C ₈	0,15	C ₈	0,05
5	C ₁₁	0,40	C ₁	0,30	C ₈	0,20	C ₈	0,10	C ₁₀	0,05	C ₅	0,10	C ₃	0,10	C ₁	0,30	C ₁₀	0,40	C ₆	0,40
6	C ₅	0,80	C ₃	0,50	C ₁₁	0,60	C ₅	0,00	C ₉	0,15	C ₆	0,05	C ₆	0,40	C ₅	0,10	C ₂	0,25	C ₅	0,10
7	C ₆	0,10	C ₆	0,00	C ₆	0,60	C ₃	0,00	C ₁₁	0,30	C ₁₀	0,20	C ₅	0,05	C ₆	0,05	C ₃	0,10	C ₁₁	0,15
8	C ₂	0,30	C ₈	0,00	C ₁₀	0,20	C ₁₀	0,05	C ₆	0,25	C ₃	0,35	C ₁₀	0,15	C ₇	0,30	C ₅	0,05	C ₉	0,25
9	C ₃	0,60	C ₁₀	0,00	C ₅	0,70	C ₆	0,00	C ₃	0,20	C ₁₁	0,25	C ₁₁	0,20	C ₁₀	0,20	C ₉	0,10	C ₂	0,10
10	C ₇	0,20	C ₅	0,00	C ₇	0,30	C ₁₁	0,05	C ₇	0,40	C ₁	0,15	C ₇	0,20	C ₉	0,25	C ₁₁	0,20	C ₇	0,40
11	C ₁₀	0,40	C ₇	0,00	C ₃	0,20	C ₂	0,00	C ₁	0,40	C ₇	0,10	C ₁	0,50	C ₁₁	0,10	C ₆	0,30	C ₁	0,05

SWARA yöntemiyle yapılan kriter ağırlıklandırma adımları ise, şu şekilde devam etmektedir;

Öncelikle, Eşitlik 1 ile s_j 'ler kullanılarak, katsayı (k_j) değerlerine ulaşılmıştır. Ardından Eşitlik 2 yardımıyla, her bir kriter için önem vektör (q_j) değerleri hesaplanmıştır. Son olarak, kriterlere ait ağırlıklar (w_j) Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır. Karar verici 1'e ait her bir kriter için hesaplanan k_j , q_j ve w_j değerleri Tablo 7'te gösterilmiştir.

Tablo 7'te, Karar Verici 1 için yapılan hesaplamaların diğer karar vericiler için de yapılması sonucu elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 8'e çıkarılmıştır.

Tablo 7. SWARA Yöntemi ile Karar Verici 1'e Ait Kriter Ağırlıklarının Hesaplama İşlemi (Calculating Criteria Weights with SWARA Method for Decision Maker 1)

Sıralama	Kriterler	s_j	k_j	q_j	w_j
1	C ₄		1,00	1,00	0,3270
2	C ₉	0,60	1,60	0,63	0,2044
3	C ₁	0,50	1,50	0,42	0,1363
4	C ₈	0,30	1,30	0,32	0,1048
5	C ₁₁	0,40	1,40	0,23	0,0749
6	C ₅	0,80	1,80	0,13	0,0416
7	C ₆	0,10	1,10	0,12	0,0378
8	C ₂	0,30	1,30	0,09	0,0291
9	C ₃	0,60	1,60	0,06	0,0182
10	C ₇	0,20	1,20	0,05	0,0151
11	C ₁₀	0,40	1,40	0,03	0,0108

Tablo 8. Kriterlerin KV'lar Bazında Hesaplanan Ağırlıkları (Calculated Weights of Criteria for Each Decision Maker)

Kriterler	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	KV ₅	KV ₆	KV ₇	KV ₈	KV ₉	KV ₁₀
C ₁	0,1363	0,0787	0,3574	0,1035	0,0225	0,0355	0,0266	0,0796	0,1648	0,0347
C ₂	0,0291	0,1023	0,0876	0,0776	0,1197	0,0954	0,1387	0,1034	0,0655	0,0510
C ₃	0,0182	0,0525	0,0090	0,0855	0,0442	0,0510	0,0970	0,1665	0,0595	0,1303
C ₄	0,3270	0,2566	0,2102	0,1242	0,1556	0,1336	0,1595	0,1998	0,1977	0,1720
C ₅	0,0416	0,0525	0,0140	0,0855	0,1041	0,0867	0,0660	0,0723	0,0567	0,0806
C ₆	0,0378	0,0525	0,0285	0,0815	0,0530	0,0826	0,0693	0,0689	0,0330	0,0886
C ₇	0,0151	0,0525	0,0108	0,0941	0,0316	0,0322	0,0398	0,0530	0,1318	0,0364
C ₈	0,1048	0,0525	0,0730	0,0855	0,2178	0,1736	0,1914	0,1448	0,1146	0,1241
C ₉	0,2044	0,1351	0,1402	0,1035	0,0862	0,1997	0,1067	0,0353	0,0515	0,0560
C ₁₀	0,0108	0,0525	0,0238	0,0815	0,0991	0,0688	0,0574	0,0442	0,0819	0,1563
C ₁₁	0,0749	0,1125	0,0456	0,0776	0,0663	0,0408	0,0478	0,0321	0,0430	0,0701

Her bir karar vericiye ait kriter ağırlıklarının ortalamasının alınması sonucu elde edilen kriter ağırlıkları ise, Tablo 9'da gösterilmiştir. Karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda, en önemli kriterin 0,1936 değeriyle " C_4 - Güvenlik" kriteri olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 9. Nihai Kriter Ağırlıkları (Final Criteria Weights)

Kriterler	Nihai Kriter Ağırlığı
-----------	-----------------------

C ₁	Aylık Ücret	0,1039
C ₂	Dosya Paylaşım Kolaylığı	0,0870
C ₃	Elastikiyet	0,0714
C ₄	Güvenlik (Veri, Şifre vb.)	0,1936
C ₅	İşletim Sistemleri ile Olan Uyumu	0,0660
C ₆	Mobil Uygulama Kullanım Kolaylığı	0,0596
C ₇	Müşteri Hizmetleri	0,0497
C ₈	Senkronizasyon Hızı	0,1282
C ₉	Ücretsiz Depolama Alanı	0,1119
C ₁₀	Üçüncü Parti Uygulamalarla Entegrasyon	0,0676
C ₁₁	Web Üzerindeki Kullanım Kolaylığı	0,0611

Tablo 9 ile nihai kriter ağırlıklarına ulaşılmıştır. Nihai kriter ağırlıklarına, karar vericilerin değerlendirmelerinin ortalamaları alınarak ulaşılmıştır [25]. Uzman değerlendirmelerinin ortalamaları araştırmacıları son kriter ağırlıkları sonucuna ulaştırabilmektedir [41]. Bu aşamadan sonra yapılacak olan işlem; elde edilen kriter ağırlıkları da dikkate alınarak, COPRAS yöntemi ile alternatif bulut depolama hizmet sağlayıcılarının değerlendirilme işleminin yapılmasıdır.

4.2. Alternatif Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcılarının COPRAS Yöntemi ile Değerlendirilmesi Aşaması (Evaluation of Alternative Cloud Storage Service Providers by COPRAS Method)

Uygulamanın bu aşamasında, bilişim uzmanlarınca önerilen altı bulut depolama hizmet sağlayıcısının COPRAS yöntemi ile değerlendirme işlemi yapılmıştır.

Değerlendirmeye alınacak bulut depolama hizmet sağlayıcıları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Günümüzde Sıkça Kullanılan Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcıları (Frequently Used Cloud Storage Service Providers at the Present Time)

A ₁	Box
A ₂	Dropbox
A ₃	Google Drive
A ₄	iCloud Drive
A ₅	OneDrive
A ₆	Yandex.Disk

Çalışmada öncelikle, karar verici olarak belirlenen iki bilişim uzmanından yararlanılarak altı alternatif bulut depolama hizmet sağlayıcı için C₂, C₃, C₄, C₅, C₆, C₇, C₁₀ ve C₁₁ subjektif kriterlerini dikkate alarak değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 11. Karar Vericilerin Alternatifleri Değerlendirmesi (Evaluation of Alternative Cloud Storage Providers by Decision Makers)

	C ₂		C ₃		C ₄		C ₅		C ₆		C ₇		C ₁₀		C ₁₁	
	Dosya Paylaşım Kolaylığı		Elastikiyet		Güvenlik (Veri, Şifre vb.)		İşletim Sistemleri ile Olan Uyumu		Mobil Uygulama Kullanım Kolaylığı		Müşteri Hizmetleri		Üçüncü Parti Uygulamalarla Entegrasyon		Web Üzerindeki Kullanım Kolaylığı	
	KV ₁	KV ₂	KV ₁	KV ₂	KV ₁	KV ₂	KV ₁	KV ₂	KV ₁	KV ₂	KV ₁	KV ₂	KV ₁	KV ₂	KV ₁	KV ₂
A ₁	80	90	50	40	80	85	80	80	80	85	80	85	80	75	60	90
A ₂	75	90	70	80	85	85	75	80	80	85	85	85	85	75	75	85
A ₃	90	90	85	90	90	85	80	80	85	85	80	85	95	90	90	80
A ₄	75	70	30	75	100	85	85	70	90	90	75	95	50	60	50	90
A ₅	90	85	95	60	85	85	100	80	90	80	75	80	85	60	70	75
A ₆	95	95	75	75	90	85	85	80	90	90	80	80	50	80	90	95

Tablo 11'deki karar vericilerin subjektif değerlendirmelerinin geometrik ortalaması alınarak, Tablo 12'ye yansıtılmıştır. Ayrıca, "C₁ - Aylık Ücret" ve "C₉ - Ücretsiz Depolama Alanı" kriterleri için, bulut depolama hizmet sağlayıcıların web sitelerinden gerekli bilgilere ulaşılmış ve Tablo 9'da ilgili sütuna bu bilgiler girilmiştir. "C₈ - Senkronizasyon Hızı" kriteri için ise, her bir bulut depolama hizmet sağlayıcısının web sitelerine 128,10 mb büyüklüğünde klasör yükleme işlemi

yapılmıştır. Bu klasörde 3 adet mp3 uzantılı müzik, 5 adet jpg uzantılı resim, 3 adet png uzantılı resim, 1 adet mov uzantılı video ve 1 adet avi uzantılı video bulunmaktadır. Yapılan denemelerden elde edilen sonuçlar ile bu denemelerin geometrik ortalamaları Ek 1'de sunulmuş (ve her bir bulut depolama hizmet sağlayıcısının senkronizasyon hızları Tablo 12'da C₈ sütununa aktarılmıştır. Denemelerde internet yükleme hızları arasında çok küçük farklılıklar söz konusu olduğundan, dikkate alınmamıştır.

Tablo 12. Alternatif Seçimi İçin Her Bir Kritere Ait Değerler (Values for Each Criterion for Alternative Selection)

Kriterler	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁
Min/Maks	Min	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Maks	Maks	Maks
SWARA Sonucu Kriter Ağırlıkları	0,104	0,087	0,071	0,194	0,066	0,060	0,050	0,128	0,112	0,068	0,061
A ₁	15,20 ₺	84,853	44,721	82,462	80,000	82,462	82,462	1725,091	10	77,460	73,485
A ₂	2,95 ₺	82,158	74,833	85,000	77,460	82,462	85,000	1875,909	2	79,844	79,844
A ₃	2,90 ₺	90,000	87,464	87,464	80,000	85,000	82,462	1770,909	15	92,466	84,853
A ₄	3,00 ₺	72,457	47,434	92,195	77,136	90,000	84,410	1567,587	5	54,772	67,082
A ₅	15,08 ₺	87,464	75,498	85,000	89,443	84,853	77,460	1752,235	5	71,414	72,457
A ₆	6,28 ₺	95,000	75,000	87,464	82,462	90,000	80,000	1114,955	10	63,246	92,466

Tablo 12'deki verilerin Eşitlik 5 yardımıyla normalizasyon işlemi yapılmış ve Tablo 13'teki normalize edilmiş karar matrisine ulaşılmıştır.

Tablo 13'teki normalize edilmiş karar matrisindeki her bir sütuna ait değerlerin, SWARA yönteminden elde edilen

kriter ağırlıkları ile çarpılması sonucunda Tablo 14'deki ağırlıklandırılmış karar matrisine ulaşılmıştır.

Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki faydalı kriterler sütunlarda öne çekilmiş, faydasız olanlar ise sona gönderilmiştir (Tablo 15).

Tablo 13. Normalize Edilmiş Karar Matrisi (Normalized Decision Matrix)

Kriterler	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁
Min/Maks	Min	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Maks	Maks	Maks
SWARA Sonucu Kriter Ağırlıkları	0,104	0,087	0,071	0,194	0,066	0,060	0,050	0,128	0,112	0,068	0,061
A ₁	0,335	0,166	0,110	0,159	0,164	0,160	0,168	0,176	0,213	0,176	0,156
A ₂	0,065	0,160	0,185	0,164	0,159	0,160	0,173	0,191	0,043	0,182	0,170
A ₃	0,064	0,176	0,216	0,168	0,164	0,165	0,168	0,181	0,319	0,211	0,180
A ₄	0,066	0,142	0,117	0,177	0,159	0,175	0,172	0,160	0,106	0,125	0,143
A ₅	0,332	0,171	0,186	0,164	0,184	0,165	0,158	0,179	0,106	0,163	0,154
A ₆	0,138	0,186	0,185	0,168	0,170	0,175	0,163	0,114	0,213	0,144	0,197

Tablo 14. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi (Weighted Normalize Decision Matrix)

Kriterler	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁
Min/Maks	Min	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Maks	Maks	Maks
A ₁	0,035	0,014	0,008	0,031	0,011	0,010	0,008	0,023	0,024	0,012	0,010
A ₂	0,007	0,014	0,013	0,032	0,011	0,010	0,009	0,025	0,005	0,012	0,010
A ₃	0,007	0,015	0,015	0,033	0,011	0,010	0,008	0,023	0,036	0,014	0,011
A ₄	0,007	0,012	0,008	0,034	0,010	0,010	0,009	0,020	0,012	0,008	0,009
A ₅	0,035	0,015	0,013	0,032	0,012	0,010	0,008	0,023	0,012	0,011	0,009
A ₆	0,014	0,016	0,013	0,033	0,011	0,010	0,008	0,015	0,024	0,010	0,012

Tablo 15. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisine Ait Faydalı ve Faydasız Kriterlerinin Ayrılması (Separation of the Maximized and Minimize Criteria for the Weighted Normalize Decision Matrix)

Kriterler	Faydalı Kriterler						Faydasız Kriterler				
	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁	C ₈
Min/Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min
A ₁	0,014	0,008	0,031	0,011	0,010	0,008	0,014	0,008	0,031	0,035	0,023
A ₂	0,014	0,013	0,032	0,011	0,010	0,009	0,014	0,013	0,032	0,007	0,025
A ₃	0,015	0,015	0,033	0,011	0,010	0,008	0,015	0,015	0,033	0,007	0,023
A ₄	0,012	0,008	0,034	0,010	0,010	0,009	0,012	0,008	0,034	0,007	0,020
A ₅	0,015	0,013	0,032	0,012	0,010	0,008	0,015	0,013	0,032	0,035	0,023
A ₆	0,016	0,013	0,033	0,011	0,010	0,008	0,016	0,013	0,033	0,014	0,015

Faydalı kriterler için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisindeki değerlerin toplamı (S_{i+}) eşitlik 9 ile faydasız kriterler için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisindeki değerlerin toplamı (S_{i-}) eşitlik 10 ile hesaplanarak, Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16. S_{i+} ve S_{i-} Değerleri (S_{i+} and S_{i-} Values)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
S_{i+}	0,127	0,115	0,153	0,113	0,122	0,137
S_{i-}	0,058	0,032	0,030	0,027	0,057	0,029

Her bir alternatif için göreceli önem ağırlığı (Q_i) eşitlik 11 yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 17’te gösterilmiştir. Tabloya göre, en yüksek göreceli öneme sahip bulut depolama hizmet sağlayıcının 0,199 değeriyle “A₃ – Google Drive” olduğunu görebiliriz.

Tablo 17. Q_i Değerleri (Q_i Values)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Q_i	0,151	0,158	0,199	0,163	0,146	0,184

Eşitlik 12 ile her bir alternatif bulut depolama hizmet sağlayıcının performans indeks değerleri hesaplanmış ve Tablo 18’de gösterilmiştir. “A₃ – Google Drive” 100 performans indeks değeri ile en iyi bulut depolama hizmet sağlayıcısı, “A₆ – Yandex.Disk” 92,557 performans indeks değeri ile en iyi ikinci bulut depolama hizmet sağlayıcısı ve “A₅ – Onedrive” 73,219 performans indeks

değeri ile sonucu bulut depolama hizmet sağlayıcısı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bulut depolama hizmet sağlayıcıların sıralamaları Tablo 18’de son sırada verilmiştir.

Tablo 18. P_i Değerleri ve Alternatiflerin Sıralanması (P_i values and Ranking of Alternatives)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
	Box	Dropbox	Google Drive	iCloud Drive	One Drive	Yandex Disk
P_i	75,802	79,595	100,000	81,999	73,219	92,557
Sıralama	5	4	1	3	6	2

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bulut hizmetleri bireylere ve şirketlere esneklik sağlamakta ve çoğu donanımsal ve yazılımsal sorumlulukları üstlenebilmektedir. Hizmetlere erkenden uyum sağlayan şirketler verimliliklerini artırırken, maliyetlerini düşürebilmektedir. Sıklıkla kullanılan bulut hizmetlerinden bulut depolama sistemleri; işletmeler için olduğu kadar bireylere yönelik olarak da hizmet etmekte ve bireylerin günlük hayatında önemli bir yerde konumlanmaktadır. Günümüzde geniş kitlelerce bilinen ve kullanılan çok sayıda çeşitli bulut depolama hizmet sağlayıcıları çeşitli açılardan ön plana çıkarken, çeşitli yönlerden birtakım zayıflıklar içermektedir. Bu çalışmada günümüzde sıklıkla kullanılan Google Drive, Yandex.Disk, iCloud Drive, Dropbox, Box ve One Drive

bulut depolama şirketleri arasından en iyisinin seçilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda literatürde bulunan ve uzman görüşlerinden faydalanılarak oluşturulan kriterlerin ağırlıkları bulunmuş ve alternatifler arasından en iyi bulut depolama hizmet sağlayıcısı belirlenmiştir. Tercih kriterleri Aylık Ücret, Dosya Paylaşım Kolaylığı, Elastikiyet, Güvenlik, İşletim Sistemleri ile Olan Uyum, Mobil Uygulama Kullanım Kolaylığı, Müşteri Hizmetleri, Senkronizasyon Hızı, Ücretsiz Depolama Alanı, Üçüncü Parti Uygulamalarla Entegrasyon, Web Üzerindeki Kullanım Kolaylığı olarak ele alınmıştır.

Türkiye’de en çok bilinen ve kullanılan bulut depolama hizmet sağlayıcılar arasından minimum maliyetle maksimum faydayı sağlayan bulut depolama hizmet sağlayıcının belirlenebilmesi için SWARA temelli COPRAS yöntemi tercih edilmiştir. SWARA yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılması yapılmış, en yüksek önem derecesine sahip kriterin “Güvenlik” kriteri olduğu ve en düşük öneme sahip kriterin ise, “- Müşteri Hizmetleri” kriterinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yedeklenmeye değer bulunan fotoğraf ve belgelerin güvenilirliği kullanıcıların bulut depolama tercihinine etki eden en önemli kriterdir. Çeşitli programların, uygulamaların, sosyal medya hesaplarının veya kredi kartlarının şifrelerinin, akademik çalışmaların ve mahremiyet içeren resimlerin yer aldığı bulut depolama sistemlerinde yer alabilecek herhangi bir “güvenlik” açığında bireyler büyük kayıplar yaşayabilmektedirler. Bu sebeple güvenlik kriteri kullanıcılar tarafından en önemli seçim kriteri olarak belirlenmiştir.

Hızın ve bilginin öncülük ettiği çağımızda sisteme dosya yükleme süresi oldukça kısa olmalıdır. Kullanıcılar bulut depolama işlemi için gereğinden fazla zaman geçirmek istememekte ve “senkronizasyon hızı” kriterini ikinci sıraya koymaktadırlar. Bulut depolama şirketinin tercihinde kullanıcılar tarafından üçüncü olarak dikkate alınan kriter “*ücretsiz depolama alanı*” kriteridir. Ücretsiz depolama alanının büyüklüğü kullanıcıları fazlasıyla cezbetmektedir. *Aylık Ücret, Dosya Paylaşım Kolaylığı, Elastikiyet, Üçüncü Parti Uygulamalar ile Entegrasyon, İşletim Sistemleri ile Uyum* kriterleri kullanıcılar tarafından bulut depolama servis sağlayıcılarının seçiminde azalan önemde dikkate alınırken, bulut depolama sistemlerinin *Web Üzerindeki Kullanım Kolaylığı, Mobil uygulama Kullanım Kolaylığı ve Müşteri Hizmetleri* özellikleri kullanıcılar tarafından en son dikkate alınan üç kriter olarak belirlenmiştir. Bulut bilişim ile ilgilenen ve bu konularda uzmanlıkları bulunan kişilerin görüşleri doğrultusunda yapılan bu çalışmada, *Mobil ve Web kullanım kolaylıklarının* çok büyük oranlarda dikkate alınmaması kullanıcıları kolay olmayan ancak nitelikli ve güçlü özelliklere sahip olan bulut depolama hizmetlerinin yine de tercih edileceğini, kullanıcıların zorlukların üstesinden zaman ve tecrübe ile gelebileceklerine dair inançlarının bulunduğu anlamına gelebilmektedir. Benzer şekilde bulut depolama hizmet sağlayıcılarının sundukları müşteri desteğinin düzeyi, kullanıcıların en son dikkate aldığı, önemi en düşük kriter

olarak ele alınmaktadır. Genellikle bulut depolama özellikleri ile ilgili büyük problemler yaşanmadığından kullanıcılar tarafından *müşteri hizmetlerinin düzeyine* en az önem addedildiği sonucuna ulaşılabilmektedir.

Bulut depolama hizmet sağlayıcılarının tercihinde kriterlerin önem dereceleri (ağırlıkları) SWARA yöntemi ile belirlendikten sonra; çeşitli bulut depolama hizmet sağlayıcıları arasından en iyisinin belirlenmesi ve diğer şirketlerin sıralanması işleminde COPRAS yönteminden yararlanılmıştır. Kriterler ışığında yapılan değerlendirme sonuçlarına göre; en iyi bulut depolama hizmet sağlayıcının Google Drive olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Değerlendirme sonucunda Yandex.Disk ikinci, iCloud Drive üçüncü, Dropbox dördüncü, Box beşinci ve OneDrive altıncı sırada yer almaktadır. Analiz sonuçlarına göre 2012 yılından itibaren varlığını sürdüren, ikili doğrulama sistemi ile güvenilirliği yüksek olan, Google uygulamalarından yararlanan, geniş boyutlarda ücretsiz depolama alanı sunan ve diğer kriterlerde de önemli ölçülerde üstün performans sergileyen Google Drive kullanıcılar için en yararlı bulut depolama hizmet sağlayıcı olarak değerlendirilmektedir. One Drive ise içerdiği sınırlı özellikler, sunulan bedava alanın azlığı, aylık ücretinin fazlalığı, entegrasyon özelliğinin azlığı gibi diğer kriterlerde de bulunan zayıflıkları sebebiyle en son tercih edilen bulut depolama hizmet sağlayıcısı olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada yapılan tüm değerlendirmeler teknolojik yeterlilikleri güçlü, konusunda uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda oluşmuştur. İlerleyen çalışmalarda veri seti geliştirilerek ortalama teknolojik yeterlilik düzeyine sahip kişilerin görüşleri ile değerlendirme yapılarak karşılaştırma yapılabilecektir. Mevcut çalışmada bulut depolama servis sağlayıcıları web ve mobil servisleri üzerinden genel olarak yorumlanmış ve değerlendirilmiştir. Ancak günümüzde bireyler çoğunlukla günlük işlemlerini mobil cihazlar aracılığı ile gerçekleştirdiklerinden ilerleyen çalışmalarda bulut depolama servis sağlayıcılarının yalnızca mobil uygulamaları üzerine yoğunlaşılabilir.

Bilişim teknolojileri literatürüne yakın olan uzmanların değerlendirmeleri ile yürütülen SWARA ve COPRAS metodunun sonuçları genelleştirilebilmektedir. Ancak yine de son kullanıcıların uzmanlar tarafından doğru olarak temsil edilmeme riski bulunmakta ve bu ise çalışmanın kısıtlarından biri olmaktadır. Bulut depolama servis sağlayıcıları; farklı önem derecelerine sahip olan kriterler ışığında oluşturulan bu çalışmayı dikkate alarak hizmetlerini geliştirebilecekler ve daha geniş kitlelere ulaşabileceklerdir. Bu sayede işletmeler büyüyecekler ve değer maksimizasyonu sağlayacaklardır. Uygulamaları kullanan bireyler ise kendilerine sunulan daha iyi hizmetler ile müşteri tatminine kolaylıkla ulaşacaklardır. Bu sayede; bulut depolama hizmeti sağlayan işletmelerin ve bireylerin hayatlarına katkıda bulunan somut bir çıktı elde edilmiş olmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] K. Ferguson-Boucher, "Cloud Computing: A Records and Information Management Perspective," *IEEE Secur. Priv. Mag.*, vol. 9, no. 6, pp. 63–66, 2011.
- [2] G. Garrison, K. Sanghyun, and R. L. Wakefield, "Success Factors for Deploying Cloud Computing," *Commun. ACM*, vol. 55, no. 9, pp. 62–68, 2012.
- [3] P. Pocatilu, C. Boja, and C. Ciurea, "Syncing Mobile Applications with Cloud Storage Services," *Inform. Econ.*, vol. 17, no. 2/2013, pp. 96–108, 2013.
- [4] O. Ali, J. Soar, J. Yong, and X. Tao, "Factors to be considered in cloud computing adoption," *Web Intell.*, vol. 14, no. 4, pp. 309–323, 2016.
- [5] C.-R. Choi and H.-Y. Jeong, "Quality evaluation and best service choice for cloud computing based on user preference and weights of attributes using the analytic network process," *Electron. Commer. Res.*, vol. 14, no. 3, pp. 245–270, 2014.
- [6] F. Xhafa and V. Loia, "Guest Editorial for Special Section on Advanced Techniques for Efficient and Reliable Cloud Storage," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 65, no. 8, pp. 2346–2347, 2016.
- [7] C.-S. Wang and S.-L. Lin, "Why are People Willing to Pay for Cloud Service," in *IEEE/ACIS 15th International Conference on*, 2016, pp. 1–6.
- [8] D. Burda and F. Teuteberg, "The role of trust and risk perceptions in cloud archiving - Results from an empirical study," *J. High Technol. Manag. Res.*, vol. 25, no. 2, pp. 172–187, 2014.
- [9] P. G. Neumann, "Risks and Myths of Cloud Computing and Cloud Storage," *Commun. ACM*, vol. 57, no. 10, pp. 25–27, 2014.
- [10] J. K. Adjei, "Explaining the role of trust in cloud service acquisition," *Explain. role Trust cloud Comput. Serv.*, vol. 17, no. 1, pp. 54–67, 2014.
- [11] F. Zafar, A. Khan, S. U. R. Malik, M. Ahmed, A. Anjum, M. I. Khan, N. Javed, M. Alam, and F. Jamil, "A survey of cloud computing data integrity schemes: Design challenges, taxonomy and future trends," *Comput. Secur.*, vol. 65, pp. 29–49, 2017.
- [12] D. Quick and K. K. R. Choo, "Dropbox analysis: Data remnants on user machines," *Digit. Investig.*, vol. 10, no. 1, pp. 3–18, 2013.
- [13] S. Savaş, N. Topaloğlu, and O. Güler, "Türkiye'deki Kullanıcıların Bazı Alan Adları Üzerine Tercihlerinin Belirlenmesi: Bir Anket Uygulaması," *Bilişim Teknol. Derg.*, vol. 8, no. 2, p. 51, 2015.
- [14] "Number of registered Dropbox users from April 2011 to March 2016 (in millions)," 2016. .
- [16] A. Gutierrez, E. Boukrami, and R. Lumsden, "Technological, Organisational and Environmental factors influencing managers' decision to adopt cloud computing in the UK," *J. Enterp. Inf. Manag.*, vol. 28, no. 6, pp. 1–19, 2015.
- [17] R. El-Gazzar, E. Hustad, and D. H. Olsen, "Understanding cloud computing adoption issues: A Delphi study approach," *J. Syst. Softw.*, vol. 118, pp. 64–84, 2016.
- [18] R. Vidhyalakshmi and V. Kumar, "Determinants of cloud computing adoption by SMEs," *Int. J. Bus. Inf. Syst.*, vol. 22, no. May, pp. 375–395, 2016.
- [19] J. Shin, M. Jo, J. Lee, and D. Lee, "Strategic Management of Cloud Computing Services: Focusing on Consumer Adoption Behavior," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 61, no. 3, pp. 419–427, 2014.
- [20] S. Le, H. Dong, F. K. Hussain, O. K. Hussain, J. Ma, and Y. Zhang, "Multicriteria decision making with fuzziness and criteria interdependence in cloud service selection," in *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2014, no. July 2014, pp. 1929–1936.
- [21] J. Papatthasiou, V. Kostoglou, and D. Petkos, "A comparative analysis of cloud computing services using multicriteria decision analysis methodologies," *Int. J. Inf. Decis. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 51–70, 2015.
- [22] D. Burda and F. Teuteberg, "Exploring consumer preferences in cloud archiving – a student's perspective," *Behav. Inf. Technol.*, vol. 35, no. 2, pp. 89–105, 2016.
- [23] S. H. Zolfani and J. Saparauskas, "New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System," *Eng. Econ.*, vol. 24, no. 5, pp. 408–414, 2013.
- [24] V. Keršulienė, E. K. Zavadskas, and Z. Turskis, "Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (Swara)," *J. Bus. Econ. Manag.*, vol. 11, no. 2, pp. 243–258, 2010.
- [25] V. Keršulienė and Z. Turskis, "Integrated Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Model for Architect Selection," *Technol. Econ. Dev. Econ.*, vol. 17, no. 4, pp. 645–666, 2011.
- [26] S. H. Zolfani, M. H. Esfahani, M. Bitarafan, E. K. Zavadskas, and S. L. Arefi, "Developing A New Hybrid MCDM Method for Selection of The Optimal Alternative of Mechanical Longitudinal Ventilation of Tunnel Pollutants During Automobile Accidents," *Transport*, vol. 28, no. 1, pp. 89–96, 2013.
- [27] M. Alimardani, S. H. Zolfani, M. H. Aghdaie, and J. Tamošaitienė, "A Novel Hybrid SWARA and VIKOR Methodology for Supplier Selection in an Agile Environment," *Technol. Econ. Dev. Econ.*, vol. 19, no. 3, pp. 533–548, 2013.
- [28] S. H. Zolfani, E. K. Zavadskas, and Z. Turskis, "Design of Products with Both International and Local Perspectives Based on Yin-Yang Balance Theory and SWARA Method," *Econ. Res.*, vol. 26, no. 2, pp. 153–166, 2013.
- [29] M. H. Aghdaie, S. H. Zolfani, and E. K. Zavadskas, "Decision Making in Machine Tool Selection : An Integrated Approach with SWARA and COPRAS-G Methods," *Eng. Econ.*, vol. 24, no. 1, pp. 5–17, 2013.
- [30] S. H. Zolfani and S. S. A. Banihashemi, "Personnel Selection Based on a Novel Model of Game Theory and MCDM Approaches," in *8th International Scientific Conference "Business and Management 2014"*, 2014, pp. 191–198.
- [31] M. Vafaiepour, S. H. Zolfani, M. H. M. Varzandeh, A. Derakhti, and M. E. Keshavarz, "Assessment of Regions Priority for Implementation of Solar Projects in Iran: New Application of a Hybrid Multi-Criteria Decision Making Approach," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, no. 2014, pp. 653–663, 2014.
- [32] M. H. Aghdaie, S. H. Zolfani, and E. K. Zavadskas, "Synergies of Data Mining and Multiple Attribute Decision Making," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 110, no. 2014, pp. 767–776, 2014.
- [33] M. H. Aghdaie, S. H. Zolfani, and E. K. Zavadskas, "Sales Branches Performance Evaluation: A Multiple Attribute Decision Making Approach," in *8th International Scientific Conference "Business and Management 2014"*, 2014, pp. 1–7.
- [34] A. Dehnavi, I. N. Aghdam, B. Pradhan, and M. H. Morshed Varzandeh, "A New Hybrid Model Using Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) Technique and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Tegmental Landslide Hazard Assessment in Iran," *Catena*, vol. 135, no. 2015, pp. 122–148, 2015.
- [35] M. R. G. Nezhad, S. H. Zolfani, F. Moztaizadeh, E. K. Zavadskas, and M. Bahrami, "Planning the priority of high tech industries based on SWARA-WASPAS methodology: The case of the nanotechnology industry in Iran," *Econ. Res. Istraz.*, vol. 28, no. 1, pp. 1111–1137, 2015.
- [36] D. Karabasevic, D. Stanujkic, S. Urosevic, and M. Maksimovic, "Selection of Candidates in the Mining Industry Based on the Application of the SWARA and the MULTIMOORA Methods," *Acta Montan. Slovaca*, vol. 20, no. 2, pp. 116–124, 2015.
- [37] D. Stanujkic, D. Karabasevic, and E. K. Zavadskas, "A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA

- Method,” *Eng. Econ.*, vol. 26, no. 2, pp. 181–187, 2015.
- [38] D. Karabasevic, D. Stanujkic, S. Urosevic, and M. Maksimovic, “An approach to personnel selection based on Swara and Waspas methods,” *J. Econ. Manag. Informatics*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2016.
- [39] D. Karabasevic, H. Paunkovic, and D. Stanujkic, “Ranking of companies according to the indicators of corporate social responsibility based on SWARA and ARAS methods,” *Serbian J. Manag.*, vol. 11, no. 1, pp. 43–53, 2016.
- [40] A. Tuş Işık and E. Aytaç Adalı, “A new integrated decision making approach based on SWARA and OCRA methods for the hotel selection problem,” *Int. J. Adv. Oper. Manag.*, vol. 8, no. 2, pp. 140–151, 2016.
- [41] S. Shukla, P. K. Mishra, R. Jain, and H. C. Yadav, “An integrated decision making approach for ERP system selection using SWARA and PROMETHEE method,” *Int. J. Intell. Enterp.*, vol. 3, no. 2, pp. 120–147, 2016.
- [42] M. Yazdani, E. K. Zavadskas, J. Ignatius, and M. D. Abad, “Sensitivity analysis in MADM methods: Application of material selection,” *Eng. Econ.*, vol. 27, no. 4, pp. 382–391, 2016.
- [43] E. Gavcar, E. Coşkun, T. Paksoy, A. Eleren, H. Sulak, M. Özdemir, T. Aytemiz, E. Özceylan, and R. Keskin, *Yöneylem Araştırması*. İstanbul: Lisans Yayıncılık, 2011.
- [44] M. Tekin, *Sayısal Yöntemler*. Konya: Selçuk Üniversitesi İİBF, 2008.
- [45] M. Timor, *Yöneylem Araştırması*. İstanbul: Türkmen Kitabevi, 2010.
- [46] İ. Erdem, *Yöneylem Araştırması ve WinQSB Uygulamaları*. Ankara: Seçkin Yayıncılık, 2013.
- [47] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introduction to Operational Research*. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [48] B. F. Yıldırım and E. Önder, *İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler için Operasyonel, Yönelimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Bursa: Dora Yayınları, 2014.
- [49] S. Hashemkhani Zolfani, J. Salimi, R. Maknoon, and K. Simona, “Technology foresight about R&D projects selection; application of SWARA method at the policy making level,” *Eng. Econ.*, vol. 26, no. 5, pp. 571–580, 2015.
- [50] D. Shine, “Cloud is headline priority for News Corp,” no. August, pp. 11–14, 2016.
- [51] F. Mohammed, O. Ibrahim, and N. Ithnin, “Factors influencing cloud computing adoption for e-government implementation in developing countries,” *J. Small Bus. Enterp. Dev.*, vol. 18, no. 3, pp. 297–327, 2016.
- [52] G. S. Alijani, H. K. Fulk, A. Omar, and R. Tulsi, “Cloud Computing Effects on Small Business,” *Entrep. Exec.*, vol. 19, pp. 35–45, 2014.
- [53] P. Gupta, A. Seetharaman, and J. Rudolph, “The usage and adoption of cloud computing by small and medium businesses,” *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 33, no. 5, pp. 861–874, 2013.
- [54] G. Ramachandran, N., Sivaprakasam, P., Thangamani, G., & Anand, “Selecting a suitable Cloud Computing technology deployment model for an academic institute,” *Campus-Wide Inf. Syst.*, vol. 31, no. 5, pp. 319–345, 2014.
- [55] I. Ion, N. Sachdeva, P. Kumaraguru, and S. Çapkun, “Home is safer than the cloud! Privacy Concerns for Consumer Cloud Storage,” *Soups '11*, p. 1, 2011.
- [56] L. Stark and M. Tierney, “Lockbox: Mobility, privacy and values in cloud storage,” *Ethics Inf. Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–13, 2014.
- [57] O. Yigitbasoglu, “Modelling the Intention to Adopt Cloud Computing Services: A Transaction Cost Theory Perspective,” *Australas. J. Inf. Syst.*, vol. 18, no. 3, pp. 193–210, 2014.
- [58] Y. Cui, Z. Lai, and N. Dai, “A First Look at Mobile Cloud Storage Services: Architecture, Experimentation and Challenge,” *IEEE Netw.*, vol. 30, no. 4, pp. 16–21, 2016.
- [59] B. Martini and K. K. R. Choo, “Cloud storage forensics: OwnCloud as a case study,” *Digit. Investig.*, vol. 10, no. 4, pp. 287–299, 2013.
- [60] J. Nakhaei, S. Lale Arefi, M. Bitarafan, and S. Kildienė, “Evaluation of light supply in the public underground safe spaces by using of COPRAS-SWARA methods,” *Int. J. Strateg. Prop. Manag.*, vol. 20, no. 2, pp. 198–206, 2016.
- [61] “https://www.box.com/cloud-storage.”
- [62] E. K. Zavadskas and A. Kaklauskas, *Multicriteria Evaluation of Building (Pastatų sistemotechninis įvertinimas)*. Vilnius: Technika, 1996.
- [63] E. Aksoy, N. Ömürbek, and M. Karaatli, “AHP Temelli MULTIMOORA ve COPRAS Yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmelerinin Performans Değerlendirmesi,” *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, vol. 33, no. 4, pp. 1–28, 2015.
- [64] A. Kaklauskas, E. K. Zavadskas, S. Raslanas, R. Ginevicius, A. Komka, and P. Malinauskas, “Selection of low-e windows in retrofit of public buildings by applying multiple criteria method COPRAS: A Lithuanian case,” *Energy Build.*, vol. 38, no. 5, pp. 454–462, May 2006.
- [65] G. Popović, D. Stanujkić, and S. Stojanović, “Investment project selection by applying COPRAS method and imprecise data,” *Serbian J. Manag.*, vol. 7, no. 2, pp. 257–269, 2012.
- [66] M. C. Das, B. Sarkar, and S. Ray, “A Framework to Measure Relative Performance of Indian Technical Institutions Using Integrated Fuzzy AHP and COPRAS Methodology,” *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 46, no. 3, pp. 230–241, Sep. 2012.
- [67] A. Özdağoğlu, “İmalat İşletmeleri için Eksantrik Pres Alternatiflerinin COPRAS Yöntemi ile Karşılaştırılması,” *Gümüşhane Üniversitesi Sos. Bilim. Elektron. Derg.*, vol. 8, no. Haziran, pp. 1–22, 2013.
- [68] S. H. Zolfani and M. Bahrami, “Investment Prioritizing in High Tech Industries Based on SWARA-COPRAS Approach,” *Technol. Econ. Dev. Econ.*, vol. 20, no. 3, pp. 534–553, 2014.
- [69] G. Sarıçalı and N. Kundakçı, “AHP ve COPRAS Yöntemleri ile Otel Alternatiflerinin Değerlendirilmesi,” *Int. Rev. Econ. Manag.*, vol. 4, no. 1, pp. 45–66, 2016.
- [70] M. Yazdani, P. Chatterjee, E. K. Zavadskas, and S. Hashemkhani Zolfani, “Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection,” *J. Clean. Prod.*, vol. 142, no. 2017, pp. 3728–3740, 2016.
- [71] E. Çakır and M. Özdemir, “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Altı Sigma Projeleri Seçiminde Uygulanması,” *Bus. Econ. Res. J.*, vol. 7, no. 2, pp. 167–201, 2016.
- [72] E. Çakır, “Electronic Document Management System (EDMS) Software Selection with Fuzzy COPRAS Method: A Municipal Case,” in *Law and Order in Turkish Society*, W. Sayers and M. Avcı, Eds. Berlin: AGP Research, 2016, pp. 92–100.
- [73] E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas, Z. Turskis, and J. Tamosaitiene, “Contractor selection multi-attribute model applyinig copras method with grey interval numbers,” *20th EURO Mini Conf. “Continuous Optim. Knowledge-Based Technol.*, pp. 241–247, 2008.
- [74] E. Çakır and M. Özdemir, “Altı Sigma Projelerinin Bulanık COPRAS Yöntemiyle Değerlendirilmesi: Bir Üretim İşletmesi Örneği,” in *XVIIth International Symposium On Econometrics, Operations Research and Statistics*, 2015, pp. 494–495.
- [75] A. Özdağoğlu, “Çok Ölçütlü Karar Verme Modellerinde Normalizasyon Tekniklerinin Sonuçlara Etkisi: COPRAS Örneği,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Derg.*, vol. 8, no. 2, pp. 229–252, 2013.

EKLER (APPENDICES)

Ek 1: Senkronizasyon Hız Testi

Bulut Servis Sağlayıcı	Yükleme (Upload) Hızı			Yükleme Süresi (sn)	Cuma Günü Teste Başlama Saati
	Yükleme Öncesi	Yükleme Sonrası	Ortalama		
Yandex.Disk	0,670	0,690	0,680	1105	12:00
Box	0,690	0,690	0,690	1670	12:20
iCloud Drive	0,680	0,700	0,690	1622	13:00
Onedrive	0,700	0,680	0,690	1722	13:30
Dropbox	0,680	0,700	0,690	1813	14:00
Google Drive	0,700	0,690	0,695	1789	14:40
Bulut Servis Sağlayıcı	Yükleme (Upload) Hızı			Yükleme Süresi (sn)	Cumartesi Günü Teste Başlama Saati
	Yükleme Öncesi	Yükleme Sonrası	Ortalama		
Google Drive	0,680	0,700	0,690	1753	10:00
Dropbox	0,700	0,700	0,700	1941	10:30
Onedrive	0,700	0,690	0,695	1783	11:10
iCloud Drive	0,690	0,700	0,695	1515	11:40
Box	0,690	0,700	0,695	1782	12:10
Yandex.Disk	0,680	0,700	0,690	1125	12:40
Bulut Servis Sağlayıcı	Yükleme (Upload) Hızı			Yükleme Süresi (sn) (Geometrik Ortalama)	
	Yükleme Öncesi	Yükleme Sonrası	Ortalama		
Box	0,690	0,695	0,692	1725,091	
Dropbox	0,690	0,700	0,695	1875,909	
Google Drive	0,690	0,695	0,692	1770,909	
iCloud Drive	0,685	0,700	0,692	1567,587	
Onedrive	0,700	0,685	0,692	1752,235	
Yandex.Disk	0,675	0,695	0,685	1114,955	

Arduino ve Wifi Temelli Çok Sensörlü Robot Tasarımı ve Denetimi

Abdulkadir KARACI¹, Mustafa ERDEMİR²

¹Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye

²Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Eğitimi Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye

akaraci@kastamonu.edu.tr, merdemir@kastamonu.edu.tr

(Geliş/Received:20.04.2017; Kabul/Accepted:13.08.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.307271

Özet— Bu çalışmada arduino mikro denetleyici kartı kullanılarak çok sensörlü ve düşük maliyetli gezgin hizmet robotu geliştirilmiştir. Robotu geliştirmedeki amaç insanın giremeyeceği yerlerdeki gaz, sıcaklık ve nem ölçümlerini gerçekleştirmektir. Böylece gaz kaynaklı insan ölümlerinin önüne geçilebilecektir. Robotun geliştirilmesinde; arduino mega kontrol kartı, ultrasonik mesafe sensörü, servo motor, motor shield, wifi modül, sıcaklık ve nem sensörü, metan gaz sensörü, motor shield ve dc motor kullanılmıştır. Bu araçlarla birlikte engel algılama ve yön bulma yazılımı geliştirilerek genel çalışma diyagramı oluşturulmuştur. Robot, mesafe sensörleri yardımıyla kapalı yerlere girebilmekte, uygun açıklığı tespit ederek çıkış yolunu bulabilmekte ve üzerinde bulunan sensörler yardımıyla elde edilen verileri wifi aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılabilir. Bu veriler web sayfasından takip edilebilmektedir. Robot üzerine kullanım amaçlarına uygun olarak daha fazla sensör yerleştirilebilmektedir. Bu çalışmada bu robotun elektronik ve yazılımsal yönü ayrıntılı olarak incelenmektedir. Yapılan testler sonucunda robotun, sensörlerden aldığı bilgileri istenen zaman aralığında başarılı bir şekilde web modülüne gönderdiği ve kapalı bir alanda kaldığında çıkış yolunu 3-4 denemede bulduğu görülmüştür. Geliştirilen robot, insanların girmekte zorlandığı ve canlılar için tehlikeli olan yerlerdeki gaz, nem ve sıcaklıkla ilgili bilgilere ulaşmakta kullanılabilir. Ayrıca üzerine kamera monte edilerek manuel şekilde uzaktan kontrol edilebilir ve amaca uygun farklı sensörler kullanılarak istenilen veriler elde edilebilir.

Anahtar Kelimeler— arduino, gezgin hizmet robotu, sensör

Arduino and Wi-Fi Based Multisensor Robot Design and Control

Abstract— In this study, a multi-sensor, low-cost mobile service robot was developed using the arduino microcontroller card. The goal in developing the robot is to carry out measurements of gas, temperature and humidity in places where the human can not enter. Thus, gas-induced human deaths can be avoided. In the development of the robot, arduino mega control card, ultrasonic distance sensor, servo motor, motor shield, wifi module, temperature and humidity sensor, methane gas sensor, motor shield and dc motor are used. Along with these tools, obstacle detection and navigation software was developed and a general working diagram was created. The robot can enter closed places with the help of distance sensors, find the exit way by detecting the appropriate openness and the data obtained with the help of the sensors located on it can be transferred to the computer environment via wifi. This data can be viewed on the web page. More sensors can be placed on the robot for their intended use. In this study, electronic and software aspects of this robot are examined in detail. As a result of the tests, the robot successfully sent the information it received from the sensors to the web module at the desired time interval and found that the exit path was found in 3-4 tests when a closed area was left. The developed robot can be used to get information about gas, humidity and temperature in places where people are difficult to enter and dangerous for living things. In addition, by mounting the camera on it, it can be remotely controlled manually and the desired data can be obtained by using different sensors suitable for this purpose.

Keywords— arduino, mobile service robot, sensor

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geçtiğimiz on yılda, mobil robotlar askeri ve endüstriyel ortamdaki hastaneler, okullar ve sıradan evler gibi sivil ve kişisel alanlara girmektedir [1]. Robotlar, özellikle tekrar eden görevleri yerine getirmede insanların yerini almaktadır. Robotik genel olarak, endüstriyel ve servis robotları olmak üzere iki alana ayrılabilir. Uluslararası Robotik Federasyonu hizmet robotunu, insanların refahı için faydalı olan hizmetleri gerçekleştiren, kısmen veya tamamen bağımsız olarak çalışan bir robot olarak tanımlamaktadır [2]. Yapılacak işin farklı yerlerde gerçekleştirilmesi robotların gezgin olmasını gerektirmektedir. Bu tür görevlere yönelik olarak tasarlanmış gezgin robotlar üç kısımdan oluşur. İlk kısım hareketi sağlayan mekanik, ikinci kısım kontrol birimleri ve algılayıcılar vasıtasıyla algılanan verileri işlenmesini sağlayan donanım, üçüncü kısım ise hareket kontrolünü ve karar almayı sağlayan yazılımdır [3]. Arduino; birçok kişi tarafından yaygın olarak kullanılan bir mikro denetleyici karttır. Esnek, kullanımı kolay ve eksiksiz bir donanım ve yazılım ortamı sunar. C / C ++ temelli Arduino dili kullanılarak programlanabilmektedir. Ayrıca Arduino'nun Windows, OS X ve Linux sistemleri için entegre geliştirme ortamı (IDE) mevcuttur ve bu ortamda çok sayıda öğretici ve kapsamlı belge bulunmaktadır [4].

Bu çalışmadaki amaç, insanın giremeyeceği yerlerdeki gaz, sıcaklık ve nem ölçümlerini gerçekleştiren, bu ölçümleri web sayfasına ileten, engelleri tespit ederek engellere çarpmayan, bir yerde kapalı kalırsa ve uygun bir açıklık varsa o açıklığı tespit ederek çıkış yolunu bulabilen bir gezgin hizmet robotu geliştirmektir. Bu amaçla arduino mikro denetleyici kartı kullanarak çok sensörlü ve düşük maliyetli gezgin bir hizmet robotu geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu robot vasıtasıyla gaz kaynaklı insan ölümlerinin önüne geçilebilecektir. İstenirse robota farklı sensörler eklenerek uzaktan izlenebilecektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR (PREVIOUS STUDIES)

Dalkılıç ve Özcanhan (2016) arduino uno kullanarak mobil araç geliştirmişlerdir. Bu araç, Android işletim sistemine sahip bir akıllı telefon uygulaması aracılığıyla bluetooth üzerinden uzaktan kontrol edilebilmektedir [5]. Güngör (2015) Arduino tipi mikrodenetleyici ve GSM modülleri ile kaçak elektrik kullanımlarının takibini yapmıştır. Yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak GSM haberleşmesini kullanmıştır [6]. Lubbe ve Kluge (2008) kablosuz ağ üzerinden uzaktan kontrol edilebilen bir prototip araba geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri araba üzerine kamera entegre ederek buradan görüntü transferini gerçekleştirmişlerdir [7]. Bazı insanlar yoğun çalışma temposu nedeniyle araçlarını bakıma götürememektedir. Thomas ve arkadaşları (2016) bu insanlar için yardımcı bir sistem geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistemde yakıt seviyesi, motor sıcaklığı ve akü gerilimi gibi veriler sensörler vasıtasıyla okunarak

arduino karta iletilmektedir. Arduino karta iletilen bu veriler anlamlı bilgi haline getirilerek bluetooth vasıtasıyla android üzerinde geliştirilmiş bir uygulamaya gönderilmektedir. Ayrıca sistem alkol sensörü vasıtasıyla sürücünün alkol düzeyini de ölçerek sürücüyü uyarılmaktadır [8]. Araç güvenlik sistemlerini ucuz imal etmek önemlidir. Sinha ve arkadaşları (2016) her araca monte edilebilen bir araç güvenlik sistemi geliştirmişlerdir. Sistem bir butona basılarak aktif edilmekte ve araç çalıştığında GSM modül vasıtasıyla alarm gönderilmekte ve GPS vasıtasıyla da aracın konumu bildirilmektedir [9]. Arabalarda hız kontrol sistemi ya hızını korur ya da önde bir araç varsa hızını azaltır. Ancak bazı durumlarda araç hızı sıfır olabilir. Bu durumu engellemek için Vaishnavi ve arkadaşları (2016) aracın boş olan şeride geçmesini sağlamak için bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemde aracın 4 ana bölümüne ultrasonik sensör eklenmiş ve bu sensörlerden gelen bilgiler bir algoritma ile değerlendirilerek motorlar buna göre yönlendirilmiştir [10]. Arduino mega kartı kendini dengede tutan iki tekerlekli robotlarda da kullanılmaktadır. Juang ve Lum (2013) 2 DC motor, Arduino mega, tek eksen jiroskop ve 2 eksen ivme ölçer kullanarak kendini dengede tutan düşük maliyetli bir robot geliştirmişlerdir [1]. Yavuz ve arkadaşları da iki tekerlekli kendini dengeleyen robot geliştirmişlerdir. Robotun geliştirilmesinde, arduino uno, geri besleme verileri, ivmeölçer ve gyro sensör kullanmışlardır. Ayrıca tasarladıkları robot üzerinde üç farklı kontrol algoritması (PI kontrol, PD kontrol, PID kontrol) uygulamış ve bu kontrol algoritmalarını test ederek hız, doğruluk ve kararlılık gibi özellikleri karşılaştırmışlardır [11]. Yalman ve Haşiloğlu (2015) hastanelerde eşzamanlı ilaç dağıtımını yapan hemşire/hemşir robot modeli geliştirmişlerdir [12].

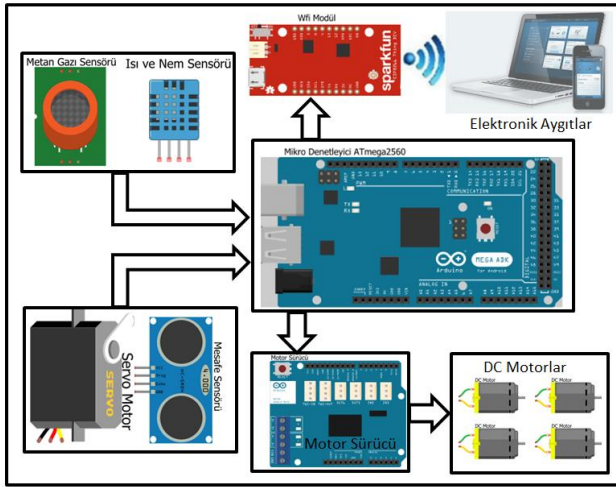
3. YÖNTEM (METHOD)

Robotun geliştirilme aşaması donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Donanım, mekanik tasarım ve elektronik tasarım olarak iki farklı başlık altında sunulmaktadır. Elektronik tasarımın gerçekleştirilmesinde; arduino mega kontrol kartı, ultrasonik mesafe sensörü, servo motor, motor shield, wifi modülü, sıcaklık ve nem sensörü, metan gaz sensörü, motor shield ve dc motor kullanılarak genel diyagram oluşturulmuştur. Mekanik tasarım; robotun mekanik gövdesinin ve hareket kabiliyetinin oluşturulması üzerine yapılan çalışmalardan oluşmaktadır. Yazılım kısmı iki farklı görevi üstlenmektedir. Birincisi engeli algılayıp uygun yönü bulma, ikincisi ise ısı, nem ve gaz sensörlerinden elde edilen verilerin wifi modül vasıtasıyla web modülüne gönderilmesidir.

3.1. Gezgin Hizmet Robotun Genel Tasarımı (General Design of Mobil Service Robot)

Geliştirilen robotun öncelikle mekanik kısmı tamamlanmıştır. Daha sonra bu mekanik kısım üzerine mikro denetleyici ve sensörler yerleştirilmiştir. Son olarak amaçlanan fonksiyonları gerçekleştirmesi için

programlanması yapılmış ve test edilmiştir. Tasarlanan robotun basitleştirilmiş genel diyagramı şekil 1'de gösterilmektedir.



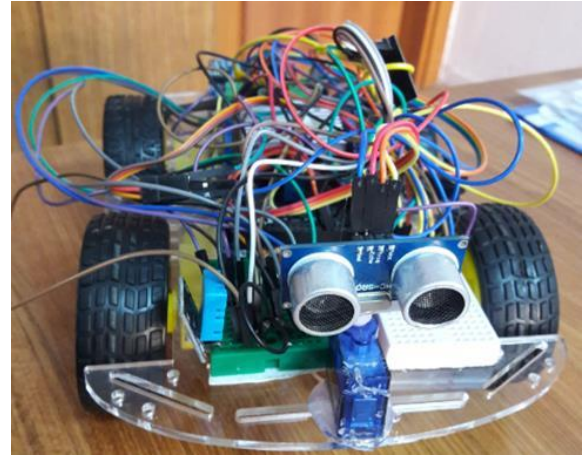
Şekil 1. Robotun basitleştirilmiş genel diyagramı
(Simplified general diagram of the robot)

Şekil 1'de de görüldüğü gibi metan gaz sensörü ve ısı-nem sensörlerinden elde edilen bilgiler wifi modülü vasıtasıyla web modülüne gönderilmektedir. Bu ölçümler interneti olan herhangi bir elektronik aygıt vasıtasıyla izlenebilmektedir. Robotun engele çarpmaması için mesafe sensöründen gelen bilgiler mikro denetleyicide değerlendirilerek ilgili komut, motor sürücü üzerinden dc motorlara iletilmektedir. Robot kapalı bir alanda kaldığında çıkmak için bir açıklık aramaktadır. Bunu gerçekleştirebilmek için, servo motor üzerine monte edilmiş mesafe sensörü vasıtasıyla 180 derecelik bir alan taramaktadır. Ayrıca robotun arka kısmına sabitlenmiş olan mesafe sensöründen gelen bilgi de değerlendirilmektedir. Robot en uzak mesafenin bulunduğu yöne dönmekte ve bu yönde hareketini sürdürmektedir.

3.2. Mekanik Tasarım(Mechanical Design)

Bir robot tasarlanmaya karar verildiğinde karşılaşılan en temel problem robotun mekanik tasarımıdır. Bu problem imalat ile rahatça çözülebilse de maliyet açısından çoğu durum için uygun değildir. Bu probleme en temel çözüm hazır modüller yardımıyla bir robot oluşturmak veya daha önceden oluşturulmuş mekanik dizgelerin omurgalarından yararlanmaktır [12]. Bu çalışma kapsamında hazır modül kullanılmıştır. Kullanılan hazır modül 4WD Çok Amaçlı Mobil Robot Platform modülüdür.

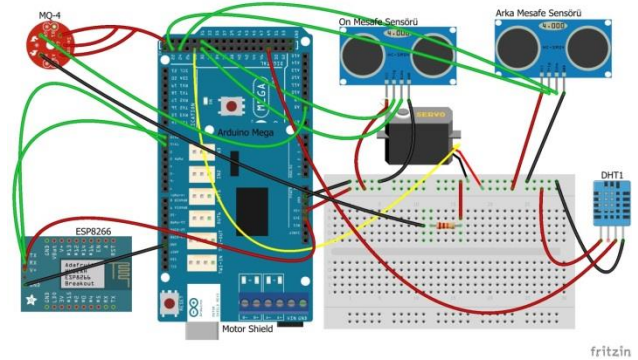
Robotun düzlemsel hareketi 4 adet 6v, 160mA, 250 rpm plastik redüktörlü DC motor ile sağlanmaktadır. Motorlara, 1 adet 7.4 V, 1350mAh 25C Lityum Polimer pil ile güç sağlanmaktadır. Kullanılan pil sürekli olarak 33,75 A akım sağlamaktadır. Şekil 2'de sensörler vasıtasıyla gaz, ısı ve nem ölçümlerini yapıp wifi üzerinden web tabanlı sisteme gönderen robotun mekanik tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 2. Çok sensörlü robotun mekanik tasarımı
(Mechanical design of multi-sensor robot)

3.3. Elektronik Tasarım(Electronic Design)

Bu bölümde robotta kullanılan elektronik modüller, özellikleri ve robotta üstlendiği görevleri açıklanmaktadır. Robotun elektronik tasarımında Arduino Mega kontrol kartı, motor sürücü, 2 adet ultrasonik mesafe sensörü, 1 adet servo motor, ESP8266 wifi modülü, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü ve MQ-4 metan gazı sensörü kullanılmıştır. Robota ait elektronik tasarım şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Robotun elektronik tasarımı
(Electronic design of robot)

Arduino Mega Kontrol Kartı: Arduino, processing /Wiring dilini kullanarak çevre elemanları ile temel çıkış uygulamalarını gerçekleştiren açık kaynaklı fiziksel programlama platformudur [6]. Arduino kart ucuzdur ve ihtiyaca uygun olarak satın alınan shield denilen çevre birimleri vasıtasıyla genişletilebilir. Arduino çok ucuz ve kolay erişilebilir bir kart olmasına karşın çok işlevseldir. Akademik ve öğrenci projeleri için ideal çözümler sağlar [1]. Bu nedenle bu çalışmada Arduino Mega kontrol kartı kullanılmıştır. Bu kart vasıtasıyla sensörlerden gelen bilgiler gerek wifi üzerinden web modülüne, gerekse motorlara gönderilmektedir.

Arduino Mega, ATmega2560 işlemcisi temelli bir mikroişlemci kartıdır. Arduino mega'da 54 adet dijital giriş/çıkış pini bulunmaktadır ve bunların 14'ü PWM çıkışı olarak kullanılabilir. Onaltı adet analog giriş

pini ve 4 adet donanım seri portu (UART) bulunmaktadır. 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, bir güç girişi, bir ICSP başlığı ve reset butonu kart üzerinde mevcuttur. Çalışma gerilimi olarak DC 7~12V ihtiyaç duymaktadır. Bu kart mikro denetleyicinin ihtiyaç duyduğu her şeyi üzerinde barındırır. USB kablo ile bilgisayara kolayca bağlanabilir. Ayrıca istenirse AC-DC adaptör veya pil vasıtasıyla da başlatılabilir [13].

Bu çalışmada başlangıçta arduino uno kullanılmıştır. Ancak kullanılan motor ve sensör adedi arttıkça pinler yetersiz kalmıştır. Ayrıca kullanılan shield'ların kullandıkları pinlerde de çakışma olmuştur. Bu sebeplerden dolayı daha fazla dijital ve analog pine sahip olan Arduino Mega kontrol kartı seçilmiştir.

Ultrasonik Mesafe Sensörü: Ultrasonik sensörler 1980'li yılların ortalarından itibaren otonom mobil robotların engellerden kaçınmaları ve harita oluşturmada kullanılmaktadır. Ultrasonik sensör üzerindeki verici tarafından ses dalgası yayılır. Bu ses dalgası engele çarpıp yansır. Yansıyan bu dalganın ultrasonik sensör üzerindeki alıcı tarafından algılanması için geçen süre (uçuş süresi) kullanılarak mesafe ölçülür [14].

Bu çalışmada mesafe ölçmek için 2 adet HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü kullanılmıştır. Sensör 2cm'den 400cm'ye kadar 3mm hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. İki adet sensörden bir tanesi robotun ön tarafına servo motor üzerine monte edilmiştir. Servo motor 180 derece sağa sola dönebilmektedir. Mesafe sensörü bu sayede daha fazla alanı taradığından dolayı gidilmesi gereken yöne daha doğru karar verilebilmektedir. Çünkü otomatik modda robot kendisi hareket etmektedir ve algoritmik olarak en uzak mesafeye gitmeye çalışmaktadır. Bu sayede herhangi bir yerde sıkıştığı zaman sıkıştığı yerden en uygun çıkışı bularak çıkabilmektedir. Diğer sensör robotun arkasına monte edilmiştir. Bu sayede robot arkasındaki engelleri de tespit edebilmektedir. Ayrıca robot bir yerde sıkıştığında eğer uygun çıkış arkada ise bu sensör vasıtasıyla bunu algılamakta ve 180 derece dönerek o bölgeden çıkabilmektedir.

Servo Motor: Servo motor, sistemin yukarı-aşağı veya sağa-sola kontrol edilmesi gereken birçok uygulamada kullanılan geri bildirimli DC tipi motorlardan biridir. Servolar, robotikte son derece yararlıdır. Servo motor, düşük devirde yüksek tork sağlar. Bir servo motordan çıkan üç kablo vardır. Bunlardan ikisi güç ve toprak, diğeri ise motora konum kontrol sinyalinin gönderildiği çıkıştır. Servo motor bir seri darbe (pulse) ile kontrol edilir. Bu darbenin uzunluğu servonun alacağı pozisyonu belirler [2]. Geliştirilen robot üzerinde 1 adet Feotech FS90R sürekli dönebilen micro servo motor kullanılmıştır. Bu motor üzerine ultrasonik mesafe sensörü monte edilmiştir ve sensörün daha fazla alanı taraması amaçlanmıştır.

Motor Shield: Arduino Mega kartı her I/O için maksimum 40 mA akım sağlayabilmektedir. Ancak araç üzerinde çalışan 4 adet DC motor yaklaşık 640 mA akım çekmektedir. Bu nedenle DC motorlar doğrudan Arduino Mega kartı üzerinden beslenememektedir. Araç üzerindeki 4 adet DC Motor, Motor Shield V2.0 ile sürülmektedir. Bu motor shield üzerinde L298 motor sürücüsü entegresi vardır ve 2 kanallıdır. Robot üzerinde 4 adet DC motor kullanıldığından kanal başına 2 adet motor bağlanmıştır. Bu durum motor shield kanal başına 2A akım sağladığı için sorun teşkil etmemektedir. Motorların hız ve yönleri birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Motor sürücüsü, robotun istenilen yöne gitmesi veya dönmesi için bir aracı olarak kullanılmaktadır. Bu işlemin nasıl gerçekleştiği yazılım bölümünde açıklanmaktadır.

Wifi Modül: Bu modül internete bağlanarak, internete veri yüklemek ya da almak için kullanılan modüldür. Wifi modül kullanılarak wifi-yönlendiriciye bağlanır. Böylece internete veri gönderilebilir. Wifi modülü, Arduino düğümünden web sunucularına standart HTTP protokolünü kullanarak veri aktarımı yapılmasına olanak tanır [15].

Bu çalışmada wifi modül olarak ESP 8266 modülü kullanılmıştır. Bu modül internete bağlanmak için en yetenekli modüllerden biridir. ESP 8266 herhangi bir mikro denetleyici veya mikroişlemciye bağlanmadan bağımsız olarak da çalışabilir. Bu modülün farklı versiyonları vardır. Bu çalışmada kullanılan sürüm ESP 8266-01 sürümüdür. Bu sürüm genel amaçlı giriş/çıkış portuna (GPIO) daha az ihtiyaç duyan küçük uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ucuz bir sürümdür [16].

Modül kullanılmadan önce güncelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem gerçekleştirilmeden modül çalışmamaktadır. ESP8266 hazır olduğunda kablosuz ağa bağlanır ve analog pinlere bağlı olan sensörlerden veriler okunur. Okunan bu değerler string bilgiye dönüştürülerek web üzerindeki veriler güncellenir. Bu güncelleme işlemi 5 dakikada bir gerçekleştirilmektedir. Sıcaklık, nem ve metan gazı ölçüm sonuçlarını saklamak için <https://thingspeak.com/> com sayfasından bir kanal açılmıştır. Bu kanala kaydedilen bilgiler IFrame olarak <http://www.turkzos.com/olcum.html> sayfasına çekilerek grafiksel olarak gösterilmektedir. Bu sayfa yazarlar tarafından tasarlanmıştır.

Isı ve Nem Sensörü: Isı ve nem sensörü olarak piyasada pek çok farklı tipte nem sensörü bulmak mümkündür. Ancak DHT11 sensörünün hazır kütüphanesi Arduino ortamında tanımlıdır [17]. Bu nedenle geliştirilen robotta DHT11 olarak bilinen ısı ve nem sensörü tercih edilmiştir.

Metan Gaz Sensörü: Metan gazını ölçmek için MQ-4 metan gaz sensörü kullanılmıştır. MQ-4, 300ppm ve 1000ppm aralığındaki metan gazı (CNG) varlığını

algılar. Bu aralık gaz kaçağlarının algılanması için uygun bir aralıktır. Diğer MQ sensörler gibi bu sensör de çıkış olarak gazın yoğunluğuna göre analog voltaj çıkışı verir.

3.4. Gezgin Hizmet Robotu için Gerçeklenen Yazılımlar (Software for Mobile Robot)

Gezgin hizmet robotu için geliştirilen yazılım iki kısımda incelenebilir. Birincisi engel algılama ve yön bulma yazılımıdır. İkincisi ise sensörlerden ısı, nem ve gaz ölçümlerinin alınarak wifi modül vasıtasıyla web modülüne gönderilmesi yazılımıdır.

3.4.1. Engel Algılama ve Yön Bulma Yazılımı (Obstacle Detection and Navigation Software)

Engel algılama ve yön bulma yazılımında iki adet ultrasonik mesafe sensöründen alınan veriler değerlendirilmektedir. Sensörlerden biri robotun arkasında, diğeri ise önündeki servo motor üzerinde bulunmaktadır. Ön taraftaki mesafe sensörü, servo motor vasıtasıyla 180 derecelik bir alandaki mesafeyi ölçmektedir. Böylece döneceği açı ve bu açının yönü mesafe sensöründen gelen en uzak mesafeye göre tespit edilmektedir. Robotun engellere çarpmaması için durma mesafesi 10 cm olarak belirlenmiştir. Yani robot 10 cm mesafede bir engel gördüğünde durmaktadır. Daha sonra ön ve arka mesafe sensörlerinden gelen bilgileri değerlendirerek gideceği yöne karar vermektedir. Robot sola dönecekse; sağ motorlara ileri, sol motorlara geri gidecek şekilde güç verilmektedir. Sağa dönecekse bu işlem tam tersi yönde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca tespit edilen açı kadar dönmesi için motorların dönme süreleri de önemlidir. Bu süreyi tespit etmek için robota 180 derece dönmesini sağlayacak program kodu yüklenmiş ve bir takım denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda robotun 180 derece dönebilmesi için 2160 mili saniye(ms) güç verilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Böylece robotun 1 derece dönmesi için güç verilme süresi ($S_{1derece}$);

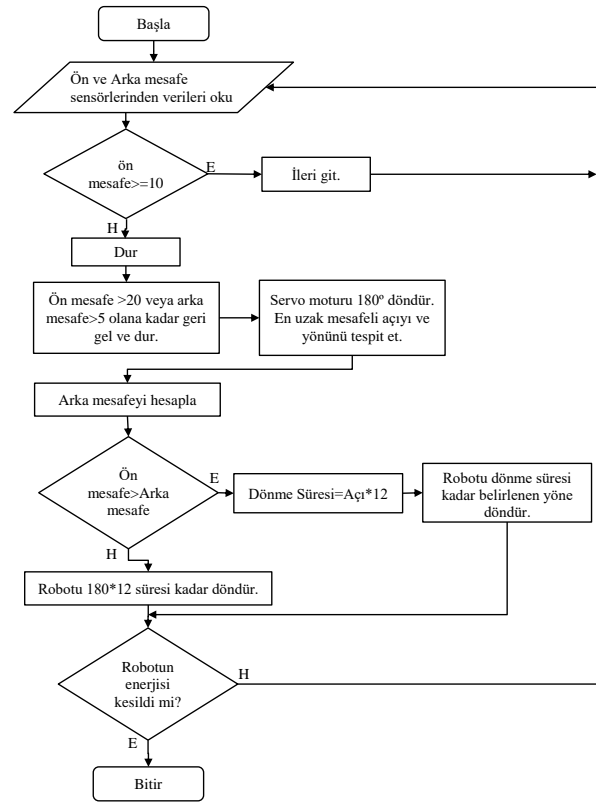
$$S_{1derece} = 2160 \text{ ms} / 180^\circ = 12 \text{ ms} \text{ şeklinde hesaplanmıştır.}$$

Robotun istenen açıda dönmesi için güç verilme süresi ($S_{xderece}$) ise;

$$S_{xderece} = x \cdot 12 \text{ ms} \text{ şeklinde hesaplanmıştır. } x = \text{dönme açısı.}$$

Bu hesaplamalar vasıtasıyla robotun istenen yöne dönmesi sağlanmıştır. Eğer en uzak mesafe arka sensörden gelmişse ön sensörden gelen veri ihmal edilerek robot 180° geriye dönmektedir. Robotun engel algılama ve uygun yöne gitmesi ile ilgili videolar internet üzerinden izlenebilir [18, 19].

Engel algılama ve yön bulma yazılımının akış şeması şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Engel algılama ve yön bulma yazılımının akış şeması

(Flow chart of obstacle detection and navigation software)

3.4.2. Wifi Modülü İle Sensör Verilerini Gönderme Yazılımı (Software to Send Sensor Data with Wifi Module)

Robota enerji verildiğinde wifi modülü (ESP 8266) daha önceden yazılıma yüklenen bilgiler vasıtasıyla internete bağlanır. $\text{long zaman} = \text{millis}() / 1000$; komutuyla robotun çalışma zamanı saniye cinsinden hesaplanır. $\text{zaman} \% 300$ işleminin sonucuna bakılarak 5 dakika olup olmadığına bakılır. Her 5 dakikada bir MQ-4 ve DHT11 sensörlerinden gelen veriler okunur. Okunan bu verileri wifi üzerinden web modülüne göndermek için aşağıdaki komut satırı vasıtasıyla sunucuya bağlanılır.

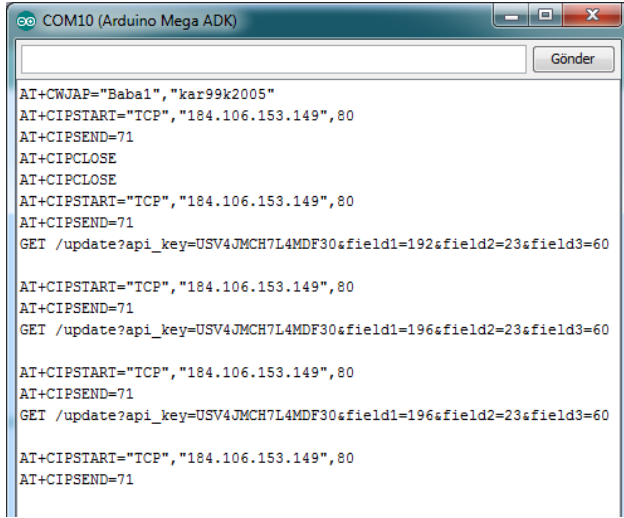
AT+CIPSTART="TCP", "184.106.153.149", 80

Bu komut satırındaki IP adresi thingspeak.com web sitesine aittir. ThingSpeak, canlı veri akışlarının bulutta toplanmasına, görselleştirilmesine ve analiz edilmesine olanak tanıyan bir IoT analiz platformudur. ThingSpeak, cihazlar tarafından ThingSpeak'a gönderilen verilerin anında görselleştirilmesini sağlar. Bu çalışma kapsamında bu siteden kanal açılmıştır. Bu kanaldaki bilgiler IFrame vasıtasıyla yazarlar tarafından tasarlanan web sayfasına çekilmektedir. Çekilen bu ölçüm bilgileri <http://www.turkzos.com/olcum.html> sayfasından yayınlanmaktadır. AT+CIPSEND=71 komut satırıyla 71 baytlık veri ESP8266 modülüne bildirilmektedir. Modül uygunsa geriye ">" karakterini döndürmektedir.

Yazılımda bu karakter kontrol edilerek aşağıdaki veri gönderme komutu çalıştırılmaktadır.

```
GET /update?api_key=
USV4JMCH7L4MD30&field1=192field2=23&field3=60
```

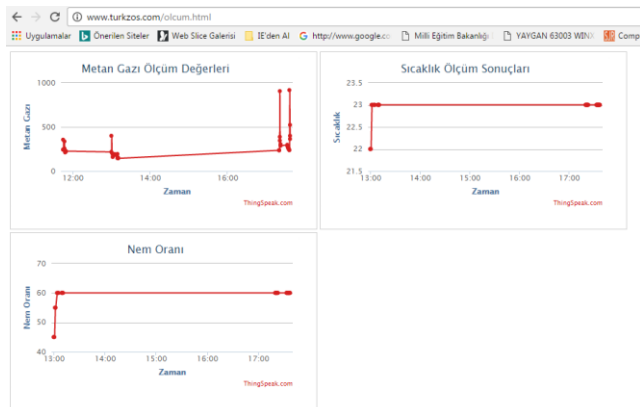
Bu komuttaki field1 gaz, field2 sıcaklık ve field3 ise nem değerlerini temsil etmektedir. Bu değerler yukarıdaki komut satırına sensörlerden gelen bilgilere göre program içinde dinamik olarak eklenmektedir. Veri gönderme işlemi arduino IDE ortamının seri port ekranında şekil 5'de gösterildiği gibi takip edilebilmektedir.



```
COM10 (Arduino Mega ADK)
Gönder
AT+CWNJAP="Babal", "kar99k2005"
AT+CIPSTART="TCP", "184.106.153.149", 80
AT+CIPSEND=71
AT+CIPCLOSE
AT+CIPCLOSE
AT+CIPSTART="TCP", "184.106.153.149", 80
AT+CIPSEND=71
GET /update?api_key=USV4JMCH7L4MD30&field1=192&field2=23&field3=60
AT+CIPSTART="TCP", "184.106.153.149", 80
AT+CIPSEND=71
GET /update?api_key=USV4JMCH7L4MD30&field1=196&field2=23&field3=60
AT+CIPSTART="TCP", "184.106.153.149", 80
AT+CIPSEND=71
GET /update?api_key=USV4JMCH7L4MD30&field1=196&field2=23&field3=60
AT+CIPSTART="TCP", "184.106.153.149", 80
AT+CIPSEND=71
```

Şekil 5. Wifi üzerinden veri gönderme işleminin seri port üzerinden izlenmesi
(Monitoring of data transmission via Wifi in serial port)

Gönderilen ölçüm verileri web modülüne kaydedilmekte ve bu veriler zamana bağlı olarak grafiksel olarak şekil 6'daki gibi gösterilmektedir.



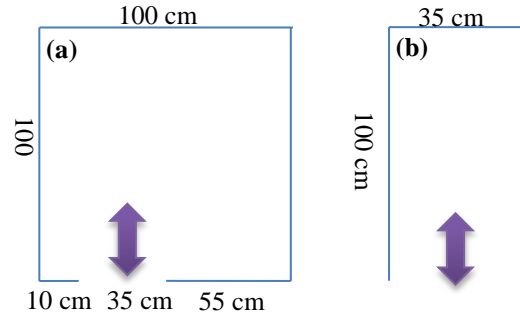
Şekil 6. Gaz, Sıcaklık ve Nem değerlerinin web modülünde gösterilmesi
(Display of gas, temperature and humidity values in web module)

Gaz, sıcaklık ve nem değerlerinin web modülünde gösterilmesi ile ilgili video internet üzerinden izlenebilir [20].

4. BULGULAR (FINDINGS)

Geliştirilen gezgin hizmet robotu iki başlık altında değerlendirilebilir. Birincisi robotun engelleri tespit ederek gitmesi gereken uygun yönü ve açığı tespit etmesidir. Bu işlemin gerçekleştirilmesindeki en büyük zorluk robotta kullanılan ultrasonik mesafe sensörünün kararlı sonuç vermemesidir. Bu nedenle robot kapalı bir alandaki açıklığı bulup çıkmak için bazen çok çaba sarf etmektedir. Bu nedenle piyasada bulunan daha kaliteli mesafe sensörlerinin kullanılması maliyeti artırmakla beraber robotun daha etkili ve kararlı çalışmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca ultrasonik mesafe sensörü yerine kızılötesi (IR) algılayıcı kullanılması mesafe ölçümünü ve engel algılamayı daha güvenli hale getirebilir. Zaten IR algılayıcılar uzaklık ölçmede günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. IR algılayıcılar ile ölçülebilen mesafe, 10 cm ila 80 cm arasında değişebilir [3]. Robot genellikle 3-4 denemede kapalı bir alandan kolayca çıkabilmektedir. Bunun dışında 3 tarafı kapalı dar bir alana bırakıldığında bir denemede açıklığı bularak bu alandan çıkabilmektedir. Diğer bir zorluk robotun tespit edilen açıda dönmesini sağlamaktır. Bu işlem gerçekleştirilirken sol ve sağ taraftaki motorlar belirli bir süre ters yönde dönmektedir. Burada önemli olan bu sürenin hesaplanmasıdır. Dönme süresinin hesaplanmasında zeminin de etkisi bulunabilmektedir. Bu nedenle zemine göre bu parametrenin güncellenmesi gerekebilir. Ayrıca dönüş açısının doğrulanması için bir geri beslemeli kontrol döngüsü çerçevesinde sensörlerden gelen veriler değerlendirilebilir. Bu durum sistemin daha kararlı çalışmasını sağlayabilir.

Robotun kapalı bir alandaki açıklıktan çıkma süresini elde etmek için bir takım testler gerçekleştirilmiştir. Bunun için 2 farklı kapalı test alanı oluşturulmuştur. Bu kapalı test alanları şekil 7 a ve b'de gösterilmektedir.



Şekil 7. (a) Test alanı-1 (b) Test alanı-2
(a) Test field-1 (b) Test field-2)

Şekil 7.a'da gösterilen test alanı-1'de 35 cm'lik bir açıklık vardır. Robottan beklenen bu açıklığı tespit ederek

çıkmasıdır. Test alanı-1’de elde edilen test verileri tablo 1’de gösterilmektedir. Bu verilere göre robot, ortalama 85.8 saniye gibi bir sürede test alanı-1’deki açıklığı tespit ederek çıkışı bulabilmektedir. Yapılan literatür taramasına göre, yapılan çalışmalarda bu tür veriler paylaşılmadığından dolayı bir karşılaştırma yapmak mümkün değildir. Ancak bu çıkış süresi yeterlidir.

Tablo 1. Test alanı-1 için çıkış süreleri
(Exit times for test field-1)

Test No	Çıkış Süresi (saniye)
1	120
2	90
3	132
4	150
5	120
6	60
7	90
8	30
9	36
10	30

Şekil 7.b’de gösterilen test alanı-2’de yine 35 cm’lik bir açıklık vardır. Ancak bu alan daha dar ve çıkıntısı olmayan düz bir alandır. Test alanı-2’de elde edilen test verileri tablo 2’de gösterilmektedir. Bu verilere göre robot, ortalama 10.3 saniye gibi kısa bir sürede test alanı-2’deki açıklığı tespit ederek çıkışı bulabilmektedir. Test alanı-2, daha dar olduğundan dolayı ön mesafe sensöründen gelen veriler çok küçük olmaktadır. Dolayısıyla bu veriler gözardı edilerek sadece arka mesafe sensöründen gelen veriler değerlendirmeye alınmaktadır. Böylece robot bir denemede tam tur geriye dönerek çıkışı bulabilmektedir.

Tablo 2. Test alanı-2 için çıkış süreleri
(Exit times for test field-2)

Test No	Çıkış Süresi (saniye)
1	8
2	10
3	12
4	8
5	10
6	12
7	9
8	12
9	10
10	12

İkinci değerlendirme ise robotun sıcaklık, nem ve gaz ölçümlerini yaparak wifi üzerinden göndermesi üzerine yapılabilir. Bu açıdan bakıldığında robot sensörlerden aldığı bilgileri istenen zaman aralığında başarılı bir şekilde web modülüne gönderebilmektedir. Buradaki en büyük zorluklardan biri modülün bazen gönderme işlemini gerçekleştirmemesidir. Gönderme işlemi çok sık (10-20 saniyede bir) tekrar edilirse 3-4 seferde bir gönderme işlemi başarısızlıkla sonuçlanabilmektedir. Ama bu süre 1 dakika veya daha fazla aralıklarla tekrar edilirse sorun çıkmamaktadır. Bunun dışında wifi modülü

ilk kullanımda bir defaya mahsus olmak üzere mutlaka güncellenmelidir. Bu çalışmada ESP8266 wifi modülü kullanılmadan önce wifi shield kullanılmıştır. Ancak bu shield motor sürücü ile pin çakışmasına sebep olmuştur. Bu pin çakışması nedeniyle robot wifi üzerinden veri gönderilmesi esnasında kendi etrafında dönmüştür. Bu nedenle ESP8266 modülü tercih edilmiştir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada insanın giremeyeceği yerlerdeki gaz, sıcaklık ve nem ölçümlerini gerçekleştiren, bu ölçümleri web sayfasına ileten, engelleri tespit ederek engellere çarpmayan, bir yerde kapalı kalırsa ve uygun bir açıklık varsa o açıklığı tespit ederek çıkış yolunu bulabilen çok sensörlü ve düşük maliyetli bir gezgin hizmet robotu geliştirilmiştir. Robot, yapılan uygulama ve testler sonucunda kapalı bir alandan hızlı ve başarılı şekilde çıkmıştır. Ayrıca ortamın gaz, nem ve sıcaklık değerlerini algılayıp web modülüne başarılı şekilde aktarmıştır.

Robotun hareketli olması ve sürekli dolaşması farklı konumlardaki ölçümlerin sürekli güncellenmesini sağlamak ve insanların ulaşmakta zorluk çektikleri dar alanlara ulaşabilmektedir. Bu özellikler sabit ölçüm cihazlarına göre bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca gezgin robotun üzerine amaca uygun çok sayıda sensörlerin yerleştirilme imkanının olması ve elde edilen verilerin wifi üzerinden web modülüne aktarılması önemli bir avantaj olarak görülmektedir.

Gezgin robot ile insan ve canlılar için sakıncalı ve tehlikeli yerlere ulaşarak veriler elde edilebilir. Gaz zehirlenmelerinin, aşırı sıcaklık durumlarının ve istenmeyen nemin önüne geçilebilir.

6. ÖNERİLER (RECOMMENDATIONS)

Geliştirilen robotun her ortamda rahat bir şekilde gezinebilmesi için mekanik aksam örümcek robot şeklinde tekrar düzenlenebilir. Robot bir ortamda kendi, kendine dolaşabileceği gibi kullanıcı tarafından web üzerinden manuel olarak kontrol edilebilir. Bunun için robota bir kamera entegre edilebilir. Ayrıca robot üzerine karbon monoksit, lpg-propan, hidrojen, hava kalite sensörü gibi sensörler eklenerek ölçüm sayısı artırılabilir. Bunun dışında GPS modülü eklenerek her yeri eşit oranda gezmesi sağlanabilir. Wifi olmayan yerler için bluetooth modülü eklenerek bluetooth üzerinden veri alış-verişi sağlanabilir.

Not: Hazırlanan çalışma, "Arduino Kullanarak Çeşitli Kategorilerde Elektronik Araç Geliştirilmesi ve Değerlendirilmesi" isimli 01/2015-8 no’lu-KÜBAP projesi tarafından desteklenmiştir. Bu kapsamda, vermiş oldukları maddi ve manevi katkılarından dolayı Kastamonu Üniversitesine teşekkür ederim.

Not: Bu çalışma 10-12 Nisan 2017 tarihlerinde Taşköprü’de düzenlenen "Uluslararası Taşköprü Pompeiopolis Bilim Kültür Sanat Araştırmaları Sempozyumunda" sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] H-S. Juang, K-Y. Lum, "Design and Control of a Two-Wheel Self-Balancing Robot using the Arduino Microcontroller Board", 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA) Hangzhou, China, June 12-14, 634-639, 2013.
- [2] W. M. Kadir, R.E. Samin, B.S. Ibrahim, "Internet controlled robotic arm.", *Proc Eng*, 41, 1065-1071, 2012.
- [3] D. Özdemir, C. Köse, "Gezgin robotların çiftliklerde ürün yeri belirleme ve taşıma işlemlerinde kullanımı", *EÜFBED - Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 49-60, 2008.
- [4] J.Sarik, I. Kymissis, "Lab kits using the Arduino prototyping platform", in IEEE Frontiers in Education Conference, Washington, 1-5, October 27 - 30, 2010.
- [5] H. Dalkılıç, M. H. Özcanhan, "Gömülü Sistem Tabanlı Model Mobil Aracın Akıllı Telefonla Uzaktan Kontrolü", XVIII. Akademik Bilişim Konferansı -- AB 2016, 30 Ocak-5 Şubat, Aydın, 2016.
- [6] O. Güngör, "Kaçak Elektrik Kullanımının GSM Aracılığıyla Takibi", *T*, 4(8), 29-33, 2015.
- [7] A. J. Lubbe, P. Kluge, "Development and Testing of a Wireless Controlled Car Using the Internet as Communication Medium", *South African Journal of Industrial Engineering*, 19(1), 137-147, 2008.
- [8] A. M. Thomas, J. Joseph, R. Mathew, "Mobile Application for Automobile Management System", *Journal for Research*, 2(2), 66-68, 2016.
- [9] A. Sinha, P. Agarwal, M. Saini, "Design And Development Of A Vehicle Theft Security System Based On Arduino Microcontroller", Emerging trends in Engineering & Management for Sustainable Development 2016 International conference, India, Şubat, 2016.
- [10] D.Vaishnavi, E. Sundari, T.V. Sangeetha, S. Shrinidhi, P. Saravanan, "Design and Development of Computational Intelligence for Enhanced Adaptive Cruise Control Using Arduino", *Applied Mechanics and Materials*, 852, 782-787, 2016.
- [11] O. İ.Yavuz, A. Çetin, Ö. Eyecioğlu, "İki Tekerlekli Kendini Dengeleyen Robot", EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Tokat TÜRKİYE, 11-13 Mayıs 2016.
- [12] S.Yalman, A. Haşiloğlu, "Hastanelerde Eş-Zamanlı İlaç Dağıtımı Yapan Hemşire /Hemşir Robotun Geliştirilmesi", Tıp teknolojileri ulusal kongresi, Bodrum, Muğla, 15-18 Ekim 2015.
- [13] N.Ya'acob, S. F. S Adnan, A. L. Yusof, A. E. Azhar, N. F. Naim, N. M. Nur, A. Mahmon, "RFID lab management system using Arduino microcontroller approach associate with webpage", *Journal of Scientific Research and Development*, 3 (2), 92-97, 2016.
- [14] S. Kim, H. B. Kim, "High Resolution Mobile Robot Obstacle Detection Using Low Directivity Ultrasonic Sensor Ring", Advanced Intelligent Computing Theories and Applications. With Aspects of Artificial Intelligence: 6th International Conference on Intelligent Computing, ICIC 2010, Changsha, China, August 18-21, 2010.
- [15] A. Djajadi, M.Wijanarko, "Ambient Environmental Quality Monitoring Using IoT Sensor Network", *Internetworking Indonesia Journal*, 8(1), 41-47, 2016.
- [16] D. Jalamkar, A.A. Selvakumar, "Use of Internet of Things in a Humanoid Robot - A Review", *Advances in Robotics & Automation*, 5(2), 2016.
- [17] M. Sevil, N. Elalınış, H. Görgün, N. Aydın, "Akıllı Ev Sistemleri İçin Bulanık Mantık İle Klima Kontrolü Tasarımı", *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 33 (3), 439-463, 2015.
- [18] Internet: <https://youtu.be/rMy9RqPCQg0>, 04.08.2017
- [19] Internet: <https://youtu.be/ymAGacktKCM>, 04.08.2017
- [20] Internet: <https://www.youtube.com/watch?v=NYqzc5SguO4>, 04.08.2017.

Enerji Tasarruflu Bina Tasarımı için Isıtma ve Soğutma Yüklerini Regresyon Tabanlı Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Modelleme

Musa PEKER¹, Osman ÖZKARACA^{2*}, Betül KESİMAL³

^{1,2,3} Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla Türkiye

musa@mu.edu.tr, osmanozkaraca@mu.edu.tr, betulkesimal@posta.mu.edu.tr

(Geliş/Received:02.05.2017; Kabul/Accepted:03.08.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.310154

Özet— Günümüzde bilişim teknolojileri hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Enerji sektörü de bu alanlardan birisidir. Nüfusun gün geçtikçe artmasıyla birlikte bina sayısı ve binaların enerji talebi de artmıştır. Enerji talebini hafifletmenin bir yolu enerji tasarrufu özelliklerine sahip verimli binalar tasarlamaktır. Bu çalışmada sekiz giriş değeri (nispi yoğunluk, yüzey alanı, duvar alanı, çatı alanı, toplam yükseklik, yönlendirme, cam alanı ve cam alanı dağılımı) ve iki çıkış değeri (ısıtma yükü (HL), soğutma yükü (CL)) olan bir veri setinin, makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak analizi yapılmıştır. Amaç, konutların ısıtma ve soğutma yükünü tahmin edebilen bir model oluşturmaktır. Bu parametrelerin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, enerji tüketiminin daha iyi kontrol edilmesini kolaylaştırmakta ve ayrıca, enerji piyasasında önemli bir sorun olarak görülen enerji ihtiyacına daha iyi uyan enerji tedarikçisinin seçiminde yardımcı olmaktadır. Bu kapsamda, veri seti analiz edilirken makine öğrenmesi algoritmalarından regresyon algoritmaları (Destek Vektör Makinesi (SVM) Regresyonu, Doğrusal Regresyon, Rasgele Orman Regresyonu ve En Yakın Komşu Regresyonu) kullanılmıştır. İki çıkış değeri için sonuçlar deneysel olarak her algoritma için ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre analiz yaptığımız veri seti için, tahmin başarımları açısından en yakın sonucu bulan algoritma Rastgele Orman Regresyon algoritması olmuştur.

Anahtar Kelimeler— Enerji performansı, Regresyon, SVM regresyon, Lineer regresyon, Rastgele orman regresyon

Modeling heating and cooling loads by regression-based machine learning techniques for energy-efficient building design

Abstract— Today, information technology is used almost in every field. The energy sector is one of these areas. As the population grew day by day, the number of buildings and the energy demands of the buildings increased. One way to decrease energy demand is to design efficient buildings with energy-saving features. In this study, an analysis of a data set which has eight input values (relative compactness, surface area, wall area, roof area, overall height, orientation, glazing area and glazing area distribution) and two output values (heating load (HL), cooling load (CL)), has been carried out using machine learning algorithms. The aim is to create a model that predicts the heating and cooling load of the houses. Accurate estimation of these parameters facilitates controlling of energy consumption and also helps in selecting an energy supplier that better suits the energy requirement, which is considered a significant problem in the energy market. In this context, when analyzing the data set, regression algorithms (Support Vector Machine (SVM) Regression, Linear Regression, Random Forest Regression and Nearest Neighbor Regression) are used among machine learning algorithms. For the two output values, the results have been calculated experimentally for each algorithm and the results have been compared. For the data set we analyzed according to the results, the algorithm that found the closest result in terms of prediction success is Random Forest regression algorithm.

Keywords— Energy Performance, Regression, SVM Regression, Linear Regression, Random Forest Regression

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyamızda son yüzyılda artan enerji ihtiyacına karşın iklim ve eko sistem değişikliği insanlığa büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle ülkeler ciddi politikalar ve çözüm yolları arayışına girmeye başlamışlardır. Örneğin; İngiltere, 2050 yılına kadar karbon emisyonlarında yüzde 80 oranında bir azalma sağlamayı taahhüt etmektedir. Bu zorlukları gidermek için, enerji tüketiminin azaltılması ve sürdürülebilir, düşük karbonlu yaşam biçimlerinin hızlandırılması gerekir [1].

Bunun yanında küreselleşen dünya ve rekabet şartlarının artmasıyla birlikte enerji, ekonomide önemli bir rol oynamaktadır. Talep açısından baktığımızda enerji, tüketicilerin faydalarını arttırmak için satın aldıkları bir ürün niteliği taşımaktadır. Arz açısından bakıldığında ise enerji, sermaye ve emek gibi önem arzeden bir üretim faktörü olma özelliğindedir. Ayrıca enerji, birçok tüketim ve üretim faaliyetlerinde gerekli bir parametre olduğu için, ülkelerdeki sosyal refahın oluşturulmasında ve ekonomik gelişmeler açısından kritik ve belirleyici bir konuma sahiptir [2].

Kaynakların hızla tükendiği dünyamızda, harcanan enerji miktarının hızla artması ve buna bağlı olarak ekosistem dengesinin bozulması sonucu, enerji kullanımını üzerinde yeni yaklaşımların ve çalışmaların oluşmasına neden olmuştur [3]. Enerji üretiminin tükenebilir ve dışa bağımlı kaynaklardan elde edildiği gelişmekte olan ülkelerde arz-talep arasındaki oluşan farklardan dolayı enerjinin maliyetinin giderek arttığı ve ülkeleri daha bağımlı hale getirdiği görülmektedir. Bu nedenle ülkeleri bağımlı kılan enerjinin tüketiminde en iyi yöntemleri kullanarak tasarruf edilmesi çok önemli bir zorunluluktur [4]. Enerji'nin etkin bir şekilde kullanımı, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi, israfın önlenmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amacı ile özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler çeşitli önlemler almaya başlamışlardır. Örneğin Türkiye'de bu bahsedilen amaçlar için 02 Mayıs 2007 tarihinde 5627 sayılı "Enerji Verimliliği Kanunu" çıkarmıştır [5].

Enerji atıkları ve çevre üzerindeki kalıcı olumsuz etkileri üzerine gittikçe artan kaygılar nedeniyle binaların enerji performansı (EPB) konusuna ilişkin önemli bir araştırma grubu bulunmaktadır [6] [7]. Dahası, Avrupa ülkelerindeki binalar, 2002/91/EC sayılı Avrupa Yönergesini takiben, enerji verimliliği açısından yasal asgari şartlara uymakla yükümlüdürler [7]. 1994 yılından 2004 yılına kadar Avrupa ve Kuzey Amerika'da bina enerji tüketimi sırasıyla yılda %1.5 ve %1.9 oranında artmıştır. Bina enerji tüketiminin son 20 yılda % 10'dan fazla arttığı Çin'de enerji piyasasında daha da büyük bir artış meydana geldiği görülmektedir [7]. Yapılan araştırma raporları incelendiğinde son yıllarda enerji tüketimi artmıştır [8]. Bu nedenle enerji tasarrufu özelliklerine sahip verimli bina tasarımı ve bu

uygulamaları destekleyen yardımcı araçlar binaların enerji kullanımını hafifletmede yardımcı olabilir. Literatür incelendiğinde özellikle bu alanda yapılmış benzer çalışmalara ulaşmak mümkündür. Son yıllarda özellikle stokastik problemleri çözmek için kullanılan zeki ve makine öğrenme yöntemleri ile gerçekleştirilen çalışmaların çok iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Benzer şekilde konutların enerji performansının makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalara ilginin arttığı görülmektedir [9] [10]. Örneğin, Castelli vd. tarafından yapılan çalışmada konutların enerji performansını genetik algoritmalar kullanılarak tahmin edilmiştir [9]. Elde edilen sonuçlara göre en doğru tahminin HYBRID-LIN algoritması ile olduğu görülmüştür. Wei vd. kentsel bina enerji analizi için, kullanılan 6 makine öğrenmesi algoritmasından (Tam doğrusal, Lasso, Mars, SVM, bagging Mars ve boosting) en iyi sonucu parametrik olmayan modellerin (Mars, SVM, bagging Mars ve boosting) verdiği görülmüştür [11]. Tian tarafından yapılan çalışmada bina enerji analizi oransal marjinal varyans ayrışma (PMVD), LMG ve Rastgele Orman algoritmaları kullanılarak incelenmiştir [12]. Bing Dong vd. [13] tropikal bölgede bina enerji tüketimini tahmin etmek için SVM algoritmasını kullanmıştır. De Wilde vd. bir ofisin iklim değişikliği altındaki enerji performansını öngörmek için MARS-meta modelini kullandı [14]. Tian vd. kampüs binasının termal performansını değerlendirmek için ACOSSO yöntemini uyguladılar [15]. Eisenhower vd. bir binanın enerji performansını değerlendirmek için destek vektör makinesine dayalı hassasiyet analizi yaptı [16].

Fazel Khayatian ve arkadaşları İtalya'nın Lombardy bölgesinin enerji performansı sertifikası açık kaynaklı veri tabanından [17] elde ettikleri kayıtlı binaların enerji sertifikalarındaki büyüklükleri yapay sinir ağları metodu ile işleyerek ısı talebi göstergelerinin tahmin edilmesi üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada, giriş parametrelerin yaklaşık % 95'inin ± 3 güven aralığına düştüğünü ortaya koymuşlardır [10].

Deqing Zhai ve arkadaşları ortam sıcaklığı ve hızı gibi kapalı çevre parametrelerine göre ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemi gibi binalardaki yüksek enerji talebi bileşenlerini değerlendiren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada termal laboratuvardaki deney sonuçlarından eğitilecek şekilde seçilen veriler Aşırı Öğrenme Makinesi yöntemi ile işlenmiştir. Çalışmada, verilen fiziksel çevresel parametreler, HVAC sistemlerinin Hava Kontrol Ünitesindeki aşırı öğrenme algoritması modelinden enerji sarfiyatı seviyesini öngörebilmektedir [18].

Literatür incelemesi yapıldığında çalışmaların kullandığı birçok kapsamlı veri tabanlarına ulaşmak mümkündür. Örneğin Eva Blomqvist ve Patrik Thollander isimli araştırmacılar daha önce var olmayan mevcut enerji verimliliği önlemlerinin, bir entegre veri tabanı ile aşılması yolunda gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, İsveç Enerji Ajansı'ndan ve ABD'de Enerji Enstitüsünün

Endüstriyel Değerlendirme Merkezlerinden elde ettikleri enerji verimliliği verilerini entegre eden yeni bir veri tabanı oluşturmuşlardır [19].

Yapılan çalışmada sekiz giriş ve iki çıkış değerinden oluşan bir veri seti üzerinde, konutların ısıtma ve soğutma yükünü tahmin edebilen bir model oluşturulmuştur. Analiz aşamasında Orange veri madenciliği programı kullanılmış olup, makine öğrenmesi algoritmalarından Regresyon algoritmaları kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Veri Seti (Data Set)

Yapılan çalışmada Athanasios Tsanas ve Angeliki Xifara isimli araştırmacıların sundukları Tablo 1'deki veri seti kullanılmıştır. Veri seti 768 örnek ve bir gerçek değerli cevabı tahmin etmeyi amaçlayan 8 özellikten oluşmaktadır. Her bir örnek ayrı bir bina içindir [20, 21]. Veri kümesi, binaların farklı bina parametrelerine sahip olan enerji verimliliği ölçümlerini içerir. Ölçülen iki enerji verim parametresi vardır: ısıtma yükü(HL) ve soğutma yükü(CL).

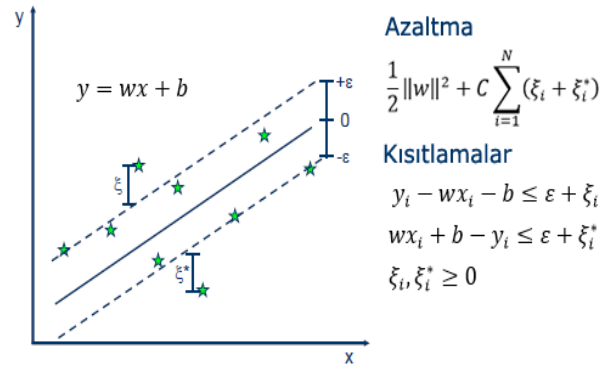
HL, sıcaklığın bir kabul edilebilir aralıkta muhafaza edilmesi için bir boşluğa eklenmesi gereken ısı enerjisinin miktarı; CL, sıcaklığı kabul edilebilir bir aralıkta tutmak için bir boşluktan (soğutma) alınması gereken ısı enerjisinin miktarı olarak tanımlanmaktadır [22]. Termal yükler olarak da bilinen HL ve CL, binanın yapısını ve izolasyonunu (taban, duvar, tavan ve tavan dâhil) ve binanın cam ve gökyüzü ışıklarını (boyut, performans, gölgeleme ve gölgelendirme temelinde) dikkate alır. HL ve CL önemli parametrelerdir ve ekonomik anlamda ciddi bir etkisi olduğu düşünülmektedir [23]. Çünkü bu tahminlerde yapılan hatalar enerji israfı anlamına gelmektedir ve HL ve CL'yi doğru bir şekilde tahmin etmek ciddi miktarda tasarruf sağlayabilir, fakat gerçekleştirilmesi zor bir iş olarak görülmektedir. Çoğu HVAC tasarımı, HVAC profesyonelinin kişisel tavsiyesine dayanmaktadır ve bu nedenle de öznel bir işlem yapılmaktadır. Bu durumda da hatalara açık olma ihtimali bulunmakta ve herhangi bir standart oluşturulamamaktadır. Böyle bir perspektifte, HL ve CL'yi doğru bir şekilde öngörmek için güvenilir hesaplama araçları çok talep görmektedir.

Tablo 1. Veri kümesi [20, 21]

Özellikler	Açıklama	Olası Değerlerin Sayısı
X1	Nispi yoğunluk	12
X2	Yüzey Alanı	12
X3	Duvar Alanı	7
X4	Çatı Alanı	4
X5	Toplam Yükseklik	2
X6	Yönlendirme	4
X7	Cam Alanı	4
X8	Cam Alanı Dağılımı	6
Y1	Isıtma Yükü	586
Y2	Soğutma Yükü	636

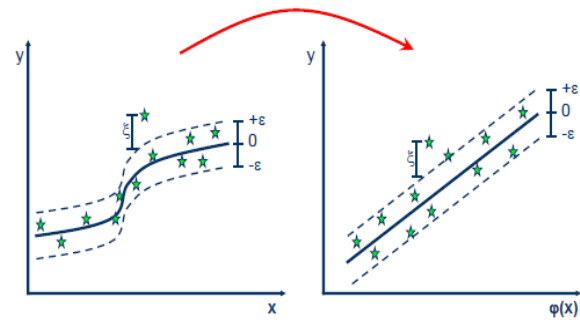
2.2. SVM Regresyon (SVM Regression)

SVM regresyon algoritması, çekirdek işlevlerine dayandığı için parametrik olmayan bir tekniktir. SVM regresyonunda amaç elde edilecek $f(x)$ fonksiyonu ile gerçek y_i çıktı değerlerinin en fazla ϵ miktarı kadar sapma ile tahmin edilmesi ve bulunan bu fonksiyona paralel olan ve eğitim girdilerini kapsayan iki düzlem arasındaki mesafenin minimum yapılmasıdır. Hataları görmezden gelen ve gerçek değer belli bir mesafesinde bulunan kayıp fonksiyonunu tanımlamaya dayanır. Bu tür bir işleme sıklıkla - epsilon yoğunluk kaybı işlevi denir. Şekil 1, epsilon yoğun bantlı tek boyutlu doğrusal regresyon fonksiyonunun bir örneğini göstermektedir. Değişkenler, eğitim noktalarında hataların maliyetini ölçmektedir. Bunlar, grubun içindeki tüm noktalarda sıfırdır [24].



Şekil 1. SVM Regresyon [24]

SVM regresyonu, yüksek boyutlu özellik uzayında hassas olmayan kayıp kullanarak doğrusal gerileme gerçekleştirir ve aynı zamanda model karmaşıklığını en aza indirgeyerek azaltmaya çalışır. Bu, hassas olmayan bölge dışındaki eğitim örneklerinin sapmasını ölçmek için (negatif olmayan) boşluk değişkenleri getirerek tanımlanabilir. Çekirdek fonksiyonları, verileri doğrusal ayırmayı gerçekleştirmek için daha yüksek bir boyutsal özellik alanına dönüştürür. Şekil 2'de doğrusal olmayan SVM örneği verilmiştir. Örnekte mevcut uzay çekirdek fonksiyonları sayesinde daha yüksek boyutlu bir uzaya taşınmaktadır. Bu şekilde doğrusal olmayan problemlerin çözümü sağlanmaktadır.



Şekil 2. Çekirdek fonksiyonları ile daha büyük bir uzaya geçme [24]

2.3. Linear Regresyon (Linear Regression)

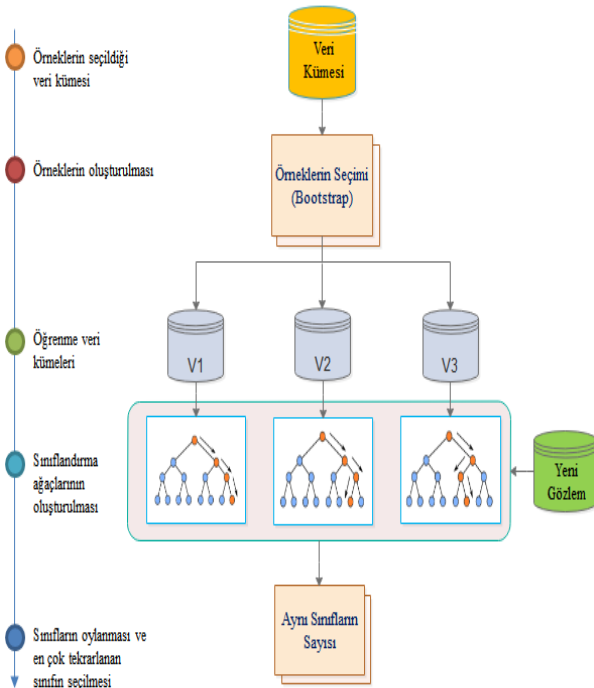
Linear regresyon bir veya birden fazla (bağımsız) değişken ile başka bir (bağımlı) değişken arasındaki bağlantıyı modellemek için kullanılan bir yöntemdir. Linear regresyonun amacı verilmiş olan x 'leri ve y 'leri kullanarak w değerlerini bulmaktır. w değerleri bulunduğundan sonra artık y değeri bilinmeyen ama x değerleri verilmiş olan bir veri ile y değeri hesaplanabilmektedir [25]. Bu nedenle linear regresyon aşağıdaki şekilde formülü edilebilir:

Her zaman $x_0 = 1$ olmak koşuluyla;

$$f(x) = \sum w_i x_i = wx \quad (1)$$

2.4. Rastgele Orman Regresyon (Random Forest Regression)

Rastgele orman regresyon algoritmasında daha fazla sayıda ağaç türetildiğinde daha yüksek model performansı elde edilmesi beklenmekle birlikte ağaç sayısındaki artışın veri setinin türü ve büyüklüğü ile bağlantılı olarak her zaman daha yüksek performans elde etmeyi garanti etmediği söylenebilir [26]. Bu nedenle farklı sayılarda ağaç türetilerek model performanslarının karşılaştırılması tavsiye edilmektedir. Modelin dezavantajları arasında tek bir karar ağacında olduğu gibi ortaya çıkan sonucun ağaç yapısı ile görsel olarak sunumunun mümkün olmaması ve modelin karmaşıklığı nedeniyle çok sayıda karar ağacının değerlendirilmesine ait işlem adımlarının görülmesine imkân vermemesi bulunmaktadır [27]. Şekil 3'de Rastgele Orman Algoritmasının işlem adımları sunulmaktadır.



Şekil 3. Rastgele orman algoritmasının akış şeması

2.5. kNN Regresyon (kNN Regression)

kNN algoritması teorik ve basit sınıflandırma yöntemlerinden biridir. kNN sınıflandırıcı $f(X) = k_i/k$ şeklinde tanımlanmış olup burada $k_i \in c_i$, X 'in k komşuluğunda c_i sınıfında yer alan örneklerin sayısını ifade etmektedir. Bu algoritmada sınıflandırılacak olan yeni örneğe eğitim setinden en yakın mesafedeki k tane örneğe bakılır. Bu k örnek çoğunluk olarak hangi sınıfa dâhil edilmiş ise yeni örnek de o sınıfa dâhil edilmektedir [28]. Örnekler arasındaki mesafe değerleri hesaplanırken genellikle Öklid ölçütü kullanılır. Bu ölçütü iki nokta arasındaki mesafe aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

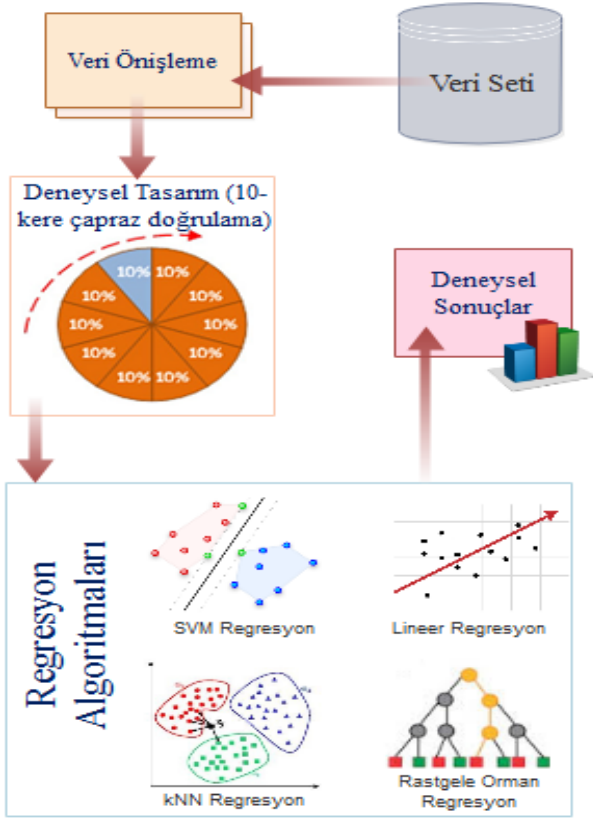
kNN regresyonunun basit bir uygulaması, en yakın k komşusunun sayısal hedefinin ortalamasını hesaplamaktır. kNN regresyonu, kNN sınıflaması ile aynı mesafe ölçütlerini kullanır.

2.6. Deneysel Uygulama (Experimental Application)

Önerilen sistemin blok diyagramı Şekil 4'de sunulmaktadır. İlk aşamada sınıflandırma işlemlerinin daha verimli yapılması için verilere 0-1 arasında normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Normalizasyon yöntemi olarak aşağıdaki denklem 3'de verilen Min-Max yöntemi kullanılmıştır.

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3)$$

Bu eşitlikte x' , normalize edilmiş veriyi; x_i , girdi değerini; x_{min} , girdi seti içerisinde yer alan en küçük sayıyı; x_{max} , girdi seti içerisinde yer alan en büyük sayıyı ifade etmektedir. Normalizasyon aşamasından sonra Deneysel Tasarım aşamasına geçilmiştir.



Şekil 4. Önerilen sistemin blok diyagramı

Deneysel Tasarım aşamasında Eğitim-Test verilerinin seçimi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada 10 kere çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Sonraki aşamada regresyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada 4 farklı regresyon algoritması ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmalar; SVM Regresyon, Lineer Regresyon, Rastgele Orman (RF) Regresyon ve *kNN* Regresyon algoritmalarıdır.

Son aşamada ise önerilen modelin etkinliği test etmek için istatistikî değerlendirme ölçütlerinden yararlanılmıştır. Bu aşamada ortalama karesel hata (MSE), kök ortalama kare hatası (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) gibi çok sayıda değerlendirme yöntemi kullanılmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Önerilen yöntemin uygulanması ile elde edilen sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3'te sunulmuştur. Tablo 2'de ısıtma yükü tahmini için elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Buna göre en iyi sonuçlar RF Regresyon algoritması ile elde edilmiştir. Diğer algoritmalar da iyi sonuç vermekle beraber en kötü sonuç SVM Regresyon algoritması ile elde edilmiştir. RF algoritmasına en yakın başarı oranı *kNN* Regresyon algoritması ile elde edilmiştir. Tablo 3'de soğutma yükü tahmini için elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Buna göre en iyi sonuçlar yine RF Regresyon algoritması ile elde edilmiştir. Diğer algoritmalar da iyi sonuç vermekle beraber en kötü sonuç SVM Regresyon algoritması ile elde edilmiştir. RF

algoritmasına en yakın başarı oranı *kNN* Regresyon algoritması ile elde edilmiştir.

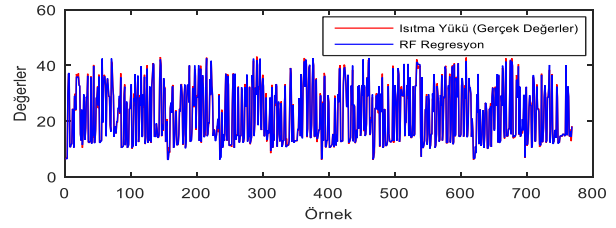
Tablo 2. Isıtma yükü tahmini için elde edilen sonuçlar

Method	MSE	RMSE	MAE
SVM Regresyon	9.301	3.050	2.439
Linear Regresyon	8.666	2.944	2.074
RF Regresyon	0.482	0.694	0.422
<i>kNN</i> Regresyon	4.665	2.160	1.512

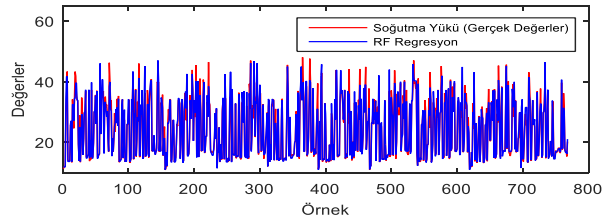
Tablo 3. Soğutma yükü tahmini için elde edilen sonuçlar

Method	MSE	RMSE	MAE
SVM Regresyon	15.736	3.967	3.186
Linear Regresyon	10.263	3.204	2.240
RF Regresyon	3.202	1.789	1.339
<i>kNN</i> Regresyon	5.189	2.278	1.313

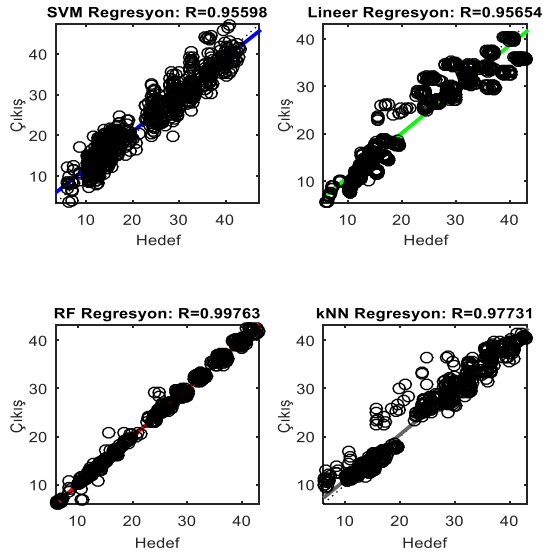
Şekil 5 ve Şekil 6'da tahmin edilen çıkış değerleri ile gerçek çıkış değerleri grafiksel olarak sunulmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8'de ise tahmin edilen çıkış değerleri ile gerçek çıkış değerleri arasındaki regresyon grafikleri sunulmaktadır. Grafiklerde görüldüğü gibi hem ısıtma yükü hem de soğutma yükü için RF Regresyon algoritması ile hedef değerlerin iyi derecede tahmin edildiği görülmektedir.



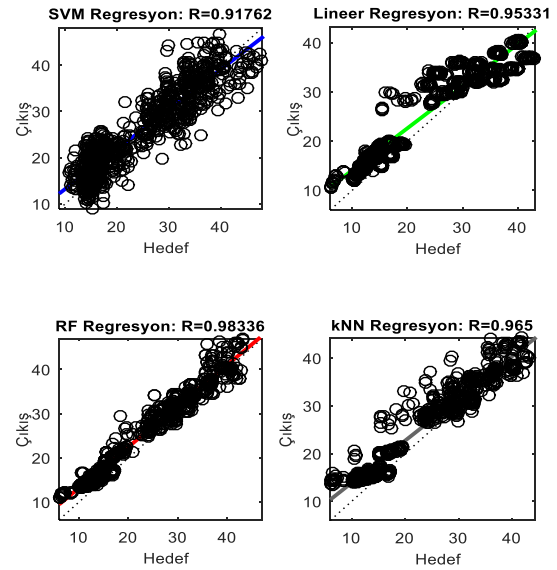
Şekil 5. Isıtma yükü için gerçek çıkış değerleri ile RF Regresyondan elde edilen değerlerin karşılaştırılması



Şekil 6. Soğutma yükü için gerçek çıkış değerleri ile RF Regresyondan elde edilen değerlerin karşılaştırılması



Şekil 7. Isıtma yükü için elde edilen Regresyon grafikleri



Şekil 8. Soğutma yükü için elde edilen Regresyon grafikleri

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada enerji tasarruflu bina tasarımı için ısıtma ve soğutma yüklerini regresyon tabanlı makine öğrenmesi algoritmaları ile bir modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemde makine öğrenmesinin önemli aşamalarından olan veri ön işleme, veri dağılımı belirleme, regresyon ve performans değerlendirme adımları bulunmaktadır. Binaların farklı bina parametrelerine sahip olan enerji verimliliği ölçümlerini içeren veri kümesi üzerinde yapılan çalışmada, iki enerji verim parametresinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Isıtma yükü ve soğutma yükünün tahmin edildiği çalışmada en iyi sonuçları Rastgele Orman algoritması vermiştir. İlerleyen çalışmalarda ısıtma ve soğutma yüklerini en çok etkileyen giriş parametrelerinin tespiti için öznetelik seçme algoritmalarından yararlanılacaktır. Ayrıca daha kapsamlı bir veri seti üzerinde de deneylerin tekrarlanması ve elde edilen sonuçların bu çalışmada elde edilen sonuçlarla da karşılaştırılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Summary of analysis using the National Energy Efficiency Data-Framework (NEED), https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_t_data/file/437093/National_Energy_Efficiency_Data-Framework_NEED_Main_Report.pdf, 20.04.2017.
- [2] G. Özyurt, K. Karabalık, "Enerji verimliliği, binaların enerji performansı ve Türkiye'deki durum", *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye Mühendislik Haberleri*, 457(54), 32-34, 2009.
- [3] E. Göçmen, Ş. Özdemir, "Farklı Tip Aydınlatma Aygıtlarının Harmonik Etkilerinin Karşılaştırılması", *V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 261-265, 2013.
- [4] C. Perdahçı, U. Hanlı, "Verimli Aydınlatma Yöntemleri", *3E Elektrotech Dergisi*, 323-327, 2010.
- [5] M. Beerepoot, M. Sunikka, "The contribution of the EC energy certificate in improving sustainability of the housing stock", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(1), 21-31, 2005.
- [6] Z. Yu, F. Haghighat, B. C.M. Fung, H. Yoshino, "A decision tree method for building energy demand modeling", *Energy and Buildings*, 42(10), 1637-1646, 2010.
- [7] W.G. Cai, Y. Wu, Y. Zhong, H. Ren, "China building energy consumption: situation, challenges and corresponding measures", *Energy Policy*, 37(6), 2054-2059, 2009.
- [8] National Academy of Sciences; National Academy of Engineering; National Research Council, **Real Prospects for Energy Efficiency in the United States**, Washington: The National Academies Press, 2010.
- [9] M. Castelli, L. Trujillo, L. Vanneschi, A. Popovic, "Prediction of energy performance of residential buildings: A genetic programming approach", *Energy and Buildings*, 102, 67-74, 2015.
- [10] F. Khayatian, L. Sarto ve G. Dall'O', "Application of neural networks for evaluating energy performance certificates of residential buildings", *Energy and Buildings*, 125, 45-54, 2016.
- [11] L. Wei, E.A. Silva, R. Choudhary, Q. Meng, S. Yang, "Comparative study on machine learning for urban building energy analysis", *Procedia Engineering*, 121, 285-292, 2015.
- [12] W. Tian, "A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 411-419, 2013.
- [13] B. Dong, C. Cao, S. E. Lee., "Applying support vector machines to predict building energy consumption in tropical region", *Energy and Buildings*, 37(5), 545-553, 2005.
- [14] P. Wilde, W. Tian, "Predicting the performance of an office under climate change: A study of metrics, sensitivity and zonal resolution", *Energy and Buildings*, 42(10), 1674-1684, 2010.
- [15] W. Tian, P. Wilde, "Uncertainty and sensitivity analysis of building performance using probabilistic climate projections: A UK case study", *Automation in construction*, 20(8), 1096-1109, 2011.
- [16] B. Eisenhower, Z. O'Neill, V.A. Fonoberov, I. Mezić, "Uncertainty and sensitivity decomposition of building energy models", *Journal of Building Performance Simulation*, 5(3), 171-184, 2012.
- [17] Open Data Lombardia, <https://www.dati.lombardia.it/>, 24.04.2017.

- [18] D. Zhai, Y. C. Soh, W. Cai, "Operating Points as Communication Bridge between Energy Evaluation with Air Temperature and Velocity based on Extreme Learning Machine (ELM) Models", IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications, Hefei, CHINA, 712-716, 2016.
- [19] E. Blomqvist, P. Thollander, "An integrated dataset of energy efficiency measures published as linked open data", *Energy Efficiency*, 8(6), 1125-1147, 2015.
- [20] A. Tsanas, A. Xifara, "Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools", *Energy and Buildings*, 49, 560-567, 2012.
- [21] A. Xifara, "Energy efficiency Data Set", <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Energy+efficiency>, 19.04.2017.
- [22] Y. Arima, R. Ooka, H. Kikumoto, "Proposal of typical and design weather year for building energy simulation", *Energy and Buildings*, 139, 517-524, 2017.
- [23] J. Lei, K. Kumarasamy, K. T. Zingre, J. Yang, M. P. Wan, E.-H. Yang, "Cool colored coating and phase change materials as complementary cooling strategies for building cooling load reduction in tropics", *Applied Energy*, 190, 57-63, 2017.
- [24] Support Vector Machine - Regression (SVR), http://www.saedsayad.com/support_vector_machine_reg.htm, 19.04.2017.
- [25] N. Demir, "Lineer Regresyon'a Giriş", <http://www.necatidemir.com.tr/2015/09/lineer-regresyona-giris-bolum-1/>, 19.04.2017.
- [26] L. Breiman, "Random Forests", <https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/randomforest2001.pdf>, 19.04.2017
- [27] M. Akman, Y. Genç, H. Ankaralı, "Random Forests Methods and an Application in Health Science", *Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics*, 3(1), 36-48, 2011.
- [28] H. Sökün, H. Kalkan, B. Cetişli, "Classification of physical activities using accelerometer signals", **20th Signal Processing and Communications Applications Conference**, Mugla, Turkey, 2012.

Baz İstasyonu Ölçümlerinin Konuma Bağlı Olarak Gerçek Zamanlı Kaydedilmesine Yönelik Arayüz Geliştirilmesi

Mehmet DEMİRTAŞ^{1*}, Ahmet BİBİ²

¹Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği

²Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Bilişim Sistemleri

mehmetd@gazi.edu.tr, ahmetbibi@gmail.com

(Geliş/Received:29.05.2017; Kabul/Accepted:07.10.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.316658

Özet— Kablosuz haberleşme sistemlerinde yaşanan önemli gelişmeler, her alanda büyük faydalar sağlamaktadır. Özellikle, kablosuz haberleşme sistemlerinin en önemli parçası olan hücrel haberleşme sistemlerinin gelişmesi, bilgiye konumdan bağımsız olarak erişebilmeye olanak tanımaktadır. Dördüncü nesil hücrel haberleşme ile veri hızları yüksek seviyelere çıkmıştır. Bu sayede, akıllı telefonlar bilgisayar rolünü üstlenmiş ve veri alışverişinde kullanılmaya başlamıştır. Bu gelişmeler baz istasyonlarının sayıca çok fazla artmasına neden olmuş ve kablosuz haberleşmede kullanılan elektromanyetik alanlar yaşamımıza dahil olmuştur. Elektromanyetik alanların seviyesini ölçmek, ulusal ve uluslararası düzenlemelerle belirlenen limit değerlere uygunluğunu tespit etmek amacıyla; elektromanyetik alan ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Ayrıca akademik çalışmalarda elektromanyetik alan kirlilik haritaları oluşturma amaçlı ölçümler de yapılmaktadır. Bu çalışmada, baz istasyonu ölçümlerinde ve elektromanyetik alan kirlilik haritalarının oluşturulmasında gerekli olan ölçüm, zaman ve konum verilerinin bir arayüz ile android telefonlarla elde edilebilmesi incelenmiş ve bu amaçla bir uygulama geliştirilmiştir. Tasarlanan yeni sistem ile ölçüm işlemleri daha basit ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca tasarlanan yazılımın kolay geliştirilebilir olması, harici bir GPS, bilgisayar vb. çevre ekipmanlar olmadan sadece ölçüm cihazıyla gerekli verileri otomatik olarak kaydetmesi ve raporlaması sistemin diğer bir avantajı olarak görülmektedir.

Anahtar Kelimeler— Android, Baz İstasyonu Ölçümü, Elektromanyetik Alan Kirlilik Haritaları, Elektromanyetik Alan Ölçümü

Developing an Application for Real-Time Recording of Base Station Measurements Dependent on Location

Abstract— Significant developments in wireless communication systems, provides great benefits in every area. In particular, the development of cellular communication systems, the most important part of wireless communication systems, allows information to be accessed independently of the location. With the fourth generation cellular communication, data rates are high. At this point, smartphones have taken over the computer role and are beginning to be used for data exchange. These developments have caused the number of base stations to increase very much and the electromagnetic fields used in wireless communication have been included in our life. To measure the level of electromagnetic fields and to determine compliance with the limit values determined by national and international regulations; electromagnetic field measurements are performed. In addition, measurements are made to create electromagnetic field pollution maps in academic studies. In this study, it was investigated whether measurement, time and location data required for base station measurements and creation of electromagnetic field pollution maps can be obtained with android phones with an interface and an application has been developed for this purpose. With the new system, the measurement process is carried out more simply and safely. In addition, it is another advantage of the system that the designed software can be easily developed and automatically record and report the required data only by connecting the measurement device to the phone without peripheral equipment such as an external GPS, computer etc.

Keywords— Electromagnetic Field Pollution Maps, Electromagnetic Field Measurements, Base Station Measurements, Android

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kablosuz haberleşme sistemlerinin gelişmesi, özellikle hücresel haberleşme sistemlerinin ileri seviyelere ulaşması, günlük hayatımıza büyük katkılar sağlamıştır. Konumdan bağımsız olarak ulaşılabilir olma, yüksek hızlarda ses ve veri iletimi, internete her an bağlanabilir olma gibi özellikleri nedeniyle hücresel haberleşme sistemleri hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur.

Hücresel haberleşme sistemlerinde, kapsama ve trafik yükü beklentilerini karşılamak amacıyla baz istasyonu sayıları her geçen gün artmakta ve bu da özellikle yerleşim alanları içinde elektromanyetik alan yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır [1]. Bütün faydalarına rağmen hücresel sistemlerin altyapısı olan baz istasyonlarının sayılarının artması ve yaşam alanlarının içine kadar girmesi birtakım çekinceleri de beraberinde getirmektedir.

Baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik alan seviyelerinin ölçülmesi, limit değerlere uygunluğunun kıyaslanması ve bir bölgedeki elektromanyetik alan kirliliğinin haritalanması uzun zamandır hem akademik çalışmaların hem de konu ile ilgili düzenleyici kuruluşların ilgi odağı olmuştur.

Türkiye’de denetim amaçlı ölçümlerin kimler tarafından ve ne şekilde yapılacağı, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından yayımlanan “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik” ile belirlenmiştir. Bu yönetmeliğe göre denetim amaçlı ölçümler BTK ve bu kurum tarafından yetkilendirilen Ölçüm Yetki Belgeli kuruluşlarca yapılmaktadır [2].

Düzenleyici ve denetleyici kuruluşlarca denetim amaçlı yapılan ölçümlerde ve incelenen araştırmalarda elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturma çalışmaları literatürde oldukça fazladır. Ancak bu çalışmalarda aşağıda belirtilen normal ölçüm düzenekleri kullanılmaktadır.

Bir bölgeye ait elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturma çalışmalarında genellikle bir ölçüm düzeneği hazırlanır. Bu ölçüm düzeneğinde; ölçüm cihazı, konum belirleme cihazı (GPS), bilgisayar, gerekli aktarma kabloları ve gerekli yazılımlar bulunmaktadır. Veriler bilgisayar aracılığıyla ayrı ayrı alınmakta ve manuel olarak kaydedilmektedir. Haritalama işlemleri, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile gerçekleştirilmekte ve bunun için de konuma bağlı ölçüm verileri gerekmektedir. Literatürde elektromanyetik alan ölçümü ve elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturulması ile ilgili yapılan yurtiçi ve yurtdışı çalışmalardan bazıları ve kullanılan sistemler incelenecek olursa;

Amerika’da geniş coğrafi alanlardaki çevrede elektromanyetik alan şiddetinin hesaplanması için GPS tabanlı bir ölçüm sistemi kurulmuş ve elde edilen veriler bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir [3]. Japonya’da büyük ölçekli güç sistemleri GPS ile senkronize edilmiş bir sistem geliştirilerek elektromanyetik kirlilik seviyesi izlenmiştir [4]. 2009 yılında İtalya’nın Monselice şehrinde yapılan bir çalışmada ise 16 kilometrekare alanda 11 baz istasyonundan alınan ölçümler Gauss-Boaga koordinatları ve uzak alan formülü kullanarak haritalanmış, elde edilen veriler ışığında elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturulmuştur [5]. 2015 yılında Romanya’nın Timisoara (Temeşvar) şehrinde 900, 1800 ve 2400 Megahertz (MHz) frekans aralıklarında değişen kaynaklardan alınan ölçümler GPS verisiyle birlikte kullanılarak haritalanmıştır [6]. Yapılan bu çalışmalarda bilgisayar tabanlı sistemler ve yazılımlar kullanılarak haritalama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizde konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, Ankara, İzmir ve İstanbul şehirleri için elektromanyetik kirlilik haritaları hazırlanmış, bu haritalar ölçüm verileri ve GPS cihazından ayrıca alınan koordinat verileri ile harmanlanarak elde edilmiştir [7]. Ankara ili için yapılan başka bir çalışmada radyo-TV vericileri ile baz istasyonlarının yoğun bulunduğu bölgelerde belirlenen noktalarda Narda firmasının genişband ölçüm cihazı EMR 300 cihazıyla ölçümler yapılmış ve bu noktalardaki elektromanyetik kirlilik haritası hazırlanan bir yazılımla oluşturulmuştur [8]. Bu uygulama benzeri uygulamalar Konya, Diyarbakır, Karaman ve Balıkesir şehirleri için de gerçekleştirilmiş, ölçümlerde diğer sistemlerde kullanılanların benzeri düzenekler kullanılmış ve haritalama işlemleri ise hazır CBS yazılımları aracılığıyla yapılmıştır [9-12].

Literatür incelenmesinde de görüldüğü gibi elektromanyetik alan ölçümü ve elektromanyetik alan kirliliği haritalama işlemlerinde kullanılan sistemler hem ölçü aleti, bilgisayar ve GPS hem de ilave ölçüm ve değerlendirme yazılımı içermektedir. Bu ekipmanların kullanımı maliyeti artırmakta ve elde edilen veriler manuel olarak kaydedildiğinden ölçüm işlemi daha da karmaşık bir hale getirmektedir.

Bu çalışmada ise android işletim sistemine sahip bir telefona sadece ölçüm cihazı bağlanması ve geliştirilen uygulama aracılığıyla ölçüm verilerinin gerçek zamanlı ve harici bir GPS cihazına gerek duymaksızın konum bilgisi ile birlikte kaydedilmesi amaçlanmıştır. Kaydedilen bu veriler denetim işlemlerinde ve elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturma işlemlerinde kullanılabilir. Oluşturulan android tabanlı yazılım ve cep telefonu kontrollü ölçüm sistemi sayesinde, ölçüm sisteminin maliyeti düşürülmüş, verilerin gerçek zamanlı ölçülmesi ve değerlendirilmesi işlemi daha basit bir hale getirilmiş ve kullanılan cep telefonu yardımıyla konum bilgisinin otomatik olarak alınması sağlanmıştır. Tasarlanan yazılımın basit olması ve diğer uygulamalara kolay uyum sağlayabilmesi sistemin avantajları olarak görülmektedir.

Geliştirilen sistemin avantajlarının yanında bir takım sınırlılıkları vardır. Sistem, android işletim sistemli akıllı telefonlar için bir uygulama olarak geliştirildiğinden GPS özelliğinin kullanılabilmesi için hücresel sistem 3G/4G şebekesine bağlı olmayı gerektirmektedir. Şebeke sinyalinin hiç olmadığı yerlerde sistemin kullanımı mümkün olmamakta, zayıf olduğu bölgelerde ise GPS konum verisinin doğruluğu düşeceği için harici bir önlem alınması gerekmektedir. Diğer bir sınırlılık ise elektromanyetik alan ölçümü esnasında telefonun açık tutulması gerekliliğidir. Bu durum sistemin çalışması için kritik önem taşımaktadır. Ayrıca ölçüm cihazı ile telefon arasındaki bağlantı fiber optik kablo aracılığıyla gerçekleştirildiğinden yeteri kadar mesafede telefon etkisinin ihmal edilebileceği düşünülmektedir.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde elektromanyetik alanlar ve kaynakları hakkında bilgi verilmiş, elektromanyetik alan ölçüm yöntemleri, yasal çerçeve, CBS ve elektromanyetik alan kirlilik haritaları incelenmiş ve gerçekleştirilen uygulamanın detayları anlatılmıştır.

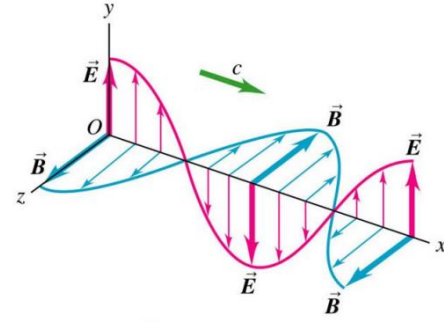
2. ELEKTROMANYETİK ALANLAR (ELECTROMAGNETIC FIELDS)

2.1. Elektromanyetik Alanlar ve Temel Kavramlar (Electromagnetic Waves and Basic Concepts)

Alan; belirli bir bölgeye dağılmış bulunan ve o bölgedeki herhangi bir cisme etki eden fiziksel bir nesnedir; elektromanyetik alan denilince çevrede yayılmış bulunan elektrik ve manyetik alan anlatılmak istenir [13]. Aynı kaynaktan yayılan elektrik ve manyetik alanlar, elektromanyetik alanı oluşturur; bu alanlardan yayılan dalgalara ise elektromanyetik dalgalar adı verilir [1]. Diğer bir deyişle elektromanyetik alan, hareketli veya hareketsiz elektriksel yükler arasındaki etkileşimin iletimidir [14].

Uzayın her noktasında zamanla değişen ve elektrik ve manyetik alan vektörleri (\vec{E} ve \vec{B}) ilerleme yönüne dik olarak hareket ediyorsa düzlem elektromanyetik dalga olarak adlandırılırlar. Elektrik ve manyetik alanın ilerleme yönünde herhangi bir bileşenin olmaması düzlem dalga olarak (TEM dalga) nitelendirilmektedir.

Bir elektromanyetik dalga kaynağından yeteri kadar uzakta yani "uzak alan" şartlarında, elektrik alan, manyetik alan ve yayılma yönünün birbirine tam dik olduğu koşullarda elektromanyetik dalga yüzeyi düzlem sayılmaktadır. Elektromanyetik dalgaların herhangi bir iletim ortamında yayılması olayına elektromanyetik ışınım adı verilir. Kablosuz haberleşme sistemleri elektromanyetik dalgaların bu özelliğini kullanır ve bu dalgaların elektrik ve manyetik alanları birbirine ve yayılım yönüne diktirler [7]. Şekil 1'de düzlem elektromanyetik dalgaların boşlukta yayılımı verilmiştir.



Şekil 1. Düzlem elektromanyetik dalgaların boşlukta yayılımı

(Propagation of transverse electromagnetic waves in free space)

Düzlem dalga varsayılabilen koşullarda elektrik alan ve manyetik alan arasında lineer bir ilişki bulunması, hesaplamalarda büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu suretle ölçümlerde elektrik ve manyetik alanlardan sadece birinin ölçülmesi yeterli olmakta ve diğeri de bu ölçümden hesaplanabilmektedir. Uzak alan şartlarının oluşmadığı durumda ise (örneğin verici anten yakınında) elektrik alan, manyetik alan ve yayılma yönü arasında lineer bir ilişki bulunmadığından bunun fiziksel çözümlemesi daha karmaşık olmaktadır.

2.2. Elektromanyetik Alan Kaynakları (Sources of Electromagnetic Field)

Elektromanyetik alan kaynakları doğal kaynaklar ve yapay kaynaklar olmak üzere iki sınıfta incelenebilir. Gök gürültülü havalarla ilişkili atmosferdeki elektrik yüklerinin birikimi ile üretilen elektrik alanları ile yıldırım, şimşek vb. doğa olayları sonrasında oluşan ve dünyanın çevresinde bulunan manyetik alanları doğal kaynaklara örnek gösterilebilir. Doğal olayların dışında kalan istemli veya istemsiz üretilen bütün kaynaklar ise yapay alan kaynaklarıdır. Elektrikle çalışan cihazlar, X-ray cihazları, haberleşme sistemleri, elektrik iletim hatları vb. bütün kaynaklar yapay alan kaynaklarıdır [15].

Doğal ve yapay kaynakların oluşturduğu elektromanyetik alanların bileşkesi, ortamın elektromanyetik kirliliğini (elektromanyetik alan seviyesini) oluşturur. Her bir kaynağın frekans yayılımının farklı olduğu düşünüldüğünde ortamın elektromanyetik kirliliği çok geniş spektrumda oluşmaktadır. Örneğin şebeke geriliminin oluşturduğu alanların frekansı 50 Hertz (Hz) iken bir baz istasyonunun oluşturduğu alanların frekansı 800 MHz ile 2600 MHz arasında değişmektedir.

2.3. Uzak Alan Kavramı (Far Field Concept)

Elektromanyetik alan kaynağına belirli bir mesafe uzaklıktan sonraki uzaklıklar uzak alan bölgesi (far-field region) olarak tanımlanmaktadır. Normal yaşamda insanlar genellikle uzak alan bölgesinde bulunmaktadır. Yapılan ölçümler de genellikle uzak alan şartlarını sağlamaktadır. Bu çalışmada geliştirilen uygulama ile de

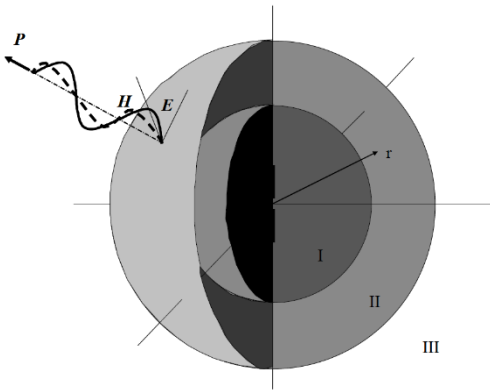
uzak alan şartlarında gerçekleştirilen baz istasyonu ölçümlerinin verileri elde edilmektedir.

Uzak alan bölgesinin anten yarıçapı, anten boyu ve başlangıç sınırı Eş. 1 formülü ile hesaplanır. Bu bölgede açısal alan dağılımı antene uzaklıktan bağımsız hale gelir ve bu bölgede elektrik alan ve manyetik alan vektörleri birbirine ve yayılım yönüne diktir [16-18].

$$r \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (1)$$

Bu formülde r reaktif yakın alan uzaklığını, D anten boyunu ve λ ise dalga boyunu metre (m) cinsinden temsil etmektedir.

Şekil 2’de bir anten için temsili gösterim yapılmıştır ve III. Bölge ile gösterilen alan uzak alanı simgelemektedir [16]. Şekil 2’de de görüldüğü üzere uzak alan bölgesinde elektrik alan vektörü (E ile gösterilen), manyetik alan vektörüne (H ile gösterilen) diktir. Ayrıca bu iki vektör yayılım yönüne (P ile gösterilen) de diktir ve bu vektörler uzak alanda antene olan uzaklıktan bağımsız hale gelmektedir.



Şekil 2. Uzak alan bölgesi
(Far field region)

Tablo 1’de 0,5 m, 1 m ve 1,5 m uzunluktaki anten için hücreli haberleşme baz istasyonlarında kullanılan frekanslarda uzak alan başlangıç uzaklıkları görülmektedir [15].

Tablo 1. Uzak alan başlangıç mesafeleri
(Initial distances of far field)

Frekans (MHz)	Uzak Alan Başlangıç Uzaklığı (m)		
	0,5 m	1 m	1,5 m
800	1,3	5,3	12
900	1,5	6	13,5
1800	3	12	27
2100	3,5	14	31,5
2600	4,3	17,3	39

2.4. Baz İstasyonu Kaynaklı Elektromanyetik Alanlar (Electromagnetic Waves from Base Stations)

Son 25 yılda hücreli sistemlerin de gelişmesiyle baz istasyonu sayısındaki artış yerleşim alanları içinde elektromanyetik alan yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Günümüzde en çok endişe, baz istasyonlarının bu denli fazlaşmasından ve yaşam alanlarında kurulu bulunmasından dolayı yaşanmaktadır. Sayılarının hızla artmasıyla baz istasyonları, kablosuz haberleşmede en çok elektromanyetik dalga oluşturan kaynaklar arasında gösterilebilir.

Elektromanyetik alan ölçümleri yakın alan ve uzak alanda farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir. Yakın alan şartları elektromanyetik alan ölçümlerinin doğruluğunda uzak alana kıyasla daha fazla bozulmaya neden olmaktadır [19].

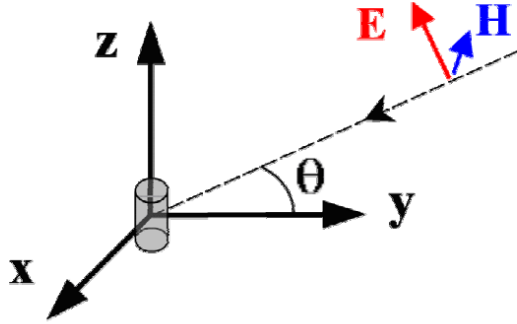
Baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik alan ölçümlerinde ise genellikle uzak alan şartları geçerli olduğundan elektromanyetik radyasyonu oluşturan iki bileşen ayrı ayrı ölçülmektedir ve elektromanyetik ışınım (radyasyon) veya elektromanyetik kirlilik ifadeleri kullanıldığında bu bileşenlerin her ikisi birlikte kastedilmektedir. Elektrik alan şiddetinin birimi için genellikle Volt/metre (V/m) kullanılır, manyetik alan şiddetinin birimi için Amper/metre (A/m), Tesla, Gauss birimleri de kullanılır. Çok düşük frekanslarda elektrik ve manyetik alanlar birbirinden bağımsız olarak davranır ve her biri ayrı ayrı ölçülmelidir. Ancak baz istasyonu gibi yüksek frekanslarda uzak alan şartlarında elektrik ve manyetik alan birbirine bağlı ve dik olarak hareket ettiğinden ortamda ya elektrik alan değeri ya manyetik alan değeri ölçülür (genellikle elektrik alan). Diğer alan ise elektrik ve manyetik alan arasındaki bağıntı ($H=E/377$ A/m) yardımıyla hesaplanır [13]. Uzak alanda; elektrik ve manyetik alanın kaynaktan uzaklaştıkça mesafenin karesiyle ters orantılı olarak azalması (serbest uzay kaybı), hesaplamalarda elektrik alan şiddetinin veya coğrafi alandaki dağılımının tahmin edilmesinde kolaylık sağlamaktadır [7].

3. BAZ İSTASYONU ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ (MEASUREMENT INSTRUMENTS AND MEASUREMENT METHODS OF BASE STATION)

Baz istasyonu ölçümlerinin yapıldığı noktalar, uzak alan şartlarını sağladığından genel halk maruziyetinin tespiti için ölçümler de uzak alana göre alınmaktadır. Baz istasyonu ölçümleri genellikle elektrik alana duyarlı problarla (antenlerle) elektrik alanın ölçülmesiyle yapılmakta ve manyetik alan değeri bu ölçüm sonucundan faydalanılarak hesaplanmaktadır [13]. Birden fazla baz istasyonu bulunan noktalarda yapılan ölçümlerde ortam limit değerlerinin yüksek çıkması durumunda her bir istasyonun etkisini ölçmek amacıyla spektrum analizörü adı verilen frekansa bağlı ölçüm kabiliyeti bulunan cihazlarla ölçüm yapılmaktadır.

3.1. Ölçüm Cihazları (Measurement Instruments)

Ölçümlerde genellikle geniş bant ölçüm cihazları veya selektif ölçüm cihazları kullanılır. Geniş bantta ölçüm yapan cihazlar, belirli bir frekans aralığındaki bütün kaynaklardan oluşan etkilerin toplamını gösterir. Örneğin 100 Kiloherz (KHz) ile 3 Gigahertz (GHz) frekanslarında ölçüm yapabilen bir cihaz ile ölçüm yapıldığında bu frekanslar arasındaki elektromanyetik alan kaynaklarının tamamının etkisi gözlemlenir ve ortamın toplam elektromanyetik alan seviyesi ölçülür. Selektif ölçüm cihazlarında ise her bir kaynağın etkisi ayrı ayrı gözlemlenebilir. Örneğin bir noktada geniş bant ölçüm yapan bir cihazla ortamın elektrik alan değeri 5 V/m bulunmuş olsun. Bu noktada selektif ölçüm kabiliyeti bulunan bir cihaz ile ölçüm yapıldığında cihazın frekans aralığı 100 KHz-3 GHz aralığında ise bu aralıktaki 5 V/m'yi oluşturan bütün frekans değerleri (yani elektromanyetik alan kaynakları) selektif ölçüm cihazında görüntülenecektir.



Şekil 3. İzotropik antenin temsili iç yapısı
(Displaying the internal structure of isotropic antenna)

Ölçüm cihazları ile ilgili diğer önemli bir husus da ölçülecek elektromanyetik alana uygun anten (prob) kullanılması gerektiğidir. Manyetik alan ölçümü için manyetik alan probu, elektrik alan ölçümü için ise elektrik alan probları kullanılır. Problar, bir de her yönden gelen (x-y-z eksenlerince) alanı ölçebilmeleri veya ölçememeleri şeklinde izotropik olup olmamalarına göre de sınıflandırılmaktadır. Eğer bir prob izotropik değilse, bu durumda ölçüm x-y-z eksenlerinde ayrı ayrı yapılmaktadır. Ölçüm cihazlarında genellikle izotropik problar kullanılmaktadır. İzotropik prob, x-y-z eksenlerinde birbirine dik olarak yerleştirilmiş ve polarizasyondan bağımsız olarak ortamdaki elektrik veya manyetik alan şiddetini algılayan detektör diyotlardan oluşur. Şekil 3'te iç yapısı gösterilen üç eksenli bir izotropik prob ile herhangi bir pozisyonda her yönden gelen elektrik veya manyetik alan toplam şiddet değeri ölçülebilmektedir. Bu durum ölçümlerde pratiklik sağlamaktadır. Çünkü eğer ölçümlerde izotropik antenler kullanılmazsa, ölçümler x-y-z yönleri için ayrı ayrı yapılmakta ve bu ölçümlerin bileşke değeri hesaplanmaktadır. Bileşke değer formülü elektrik ve

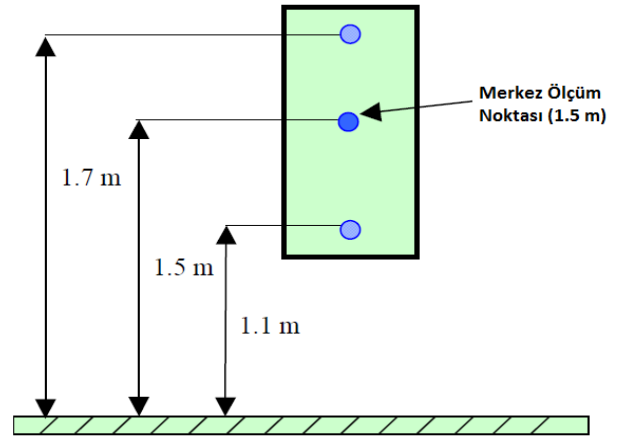
manyetik alanlar için Eş. 2 ve Eş. 3 ile gösterilmektedir. İzotropik antenlerle alınan ölçümlerde elektrik ve manyetik alan şiddeti her yönden gelen değerlerin bileşkesidir [1,20].

$$|E| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (2)$$

$$|H| = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (3)$$

3.2. Ölçüm Yöntemleri (Measurement Methods)

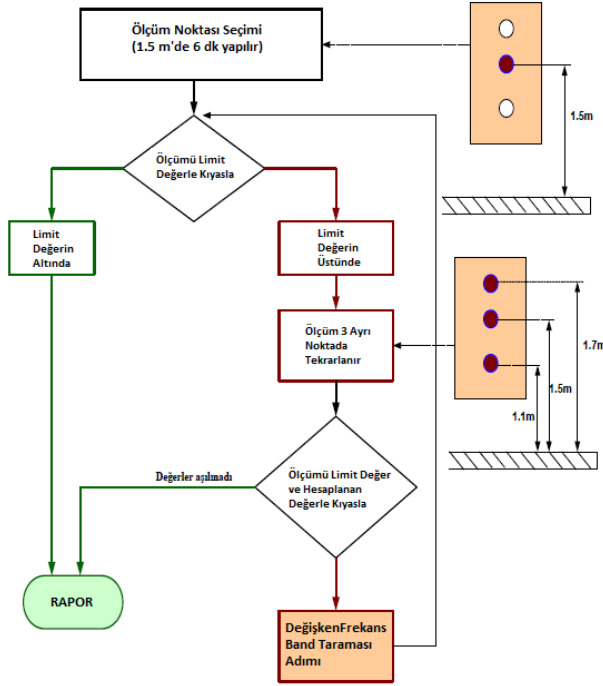
İyonize etmeyen ve radyofrekans bölgesinde yayın yapan cihazlardan kaynaklanan elektromanyetik alan şiddetinin ölçümü hususunda ulusal ve uluslararası olmak üzere çeşitli düzenlemeler bulunmaktadır. IEEE C95.3 standardı ile ECC/REC/(02)04 kodlu Avrupa Posta ve Haberleşme İdaresi (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications - CEPT) tavsiyesi uluslararası düzenlemelere örnek olarak gösterilebilir [21]. Türkiye'de ise BTK tarafından yayımlanan "Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik" ile ölçüm süreçleri tarif edilmektedir [2].



Şekil 4. ECC/REC/(02)04 tavsiyesinde ölçüm noktaları
(The survey points according to ECC/REC/(02)04 recommendation)

ECC/REC/(02)04 tavsiyesinde ölçüm için üç yaklaşım benimsenmiştir. Bunlar; Hızlı durum belirlemesi, Değişken frekansla bant taraması ve Detaylı inceleme şeklindedir. Hızlı durum belirlemesi ve Değişken frekansla bant taraması, uzak alan ölçümlerinde gerçekleştirilirken Detaylı incelemede ise yakın alan ölçümleri de gerçekleştirilmekte ve kullanılan cihaz ve problemlerin kapsamı artmaktadır. Hızlı durum belirlemesine ilişkin akış şeması Şekil 5'te gösterilmektedir [22]. Bu yaklaşımda ölçümler Şekil 4'te görüldüğü gibi zeminden 1.5 m yükseklikten gerçekleştirilmeli, eğer bu ölçümde değer limit değerlerin üzerindeyse 1.1 m ve 1.7 m yüksekliklerden iki ölçüm daha gerçekleştirilmelidir.

Ölçümlerin ortalamaları ise elektrik alan için Eş. 4 ve manyetik alan için Eş. 5 ile hesaplanır.



Şekil 5. ECC/REC/(02)04 tavsiyesinde “Hızlı Durum Belirlemesi”

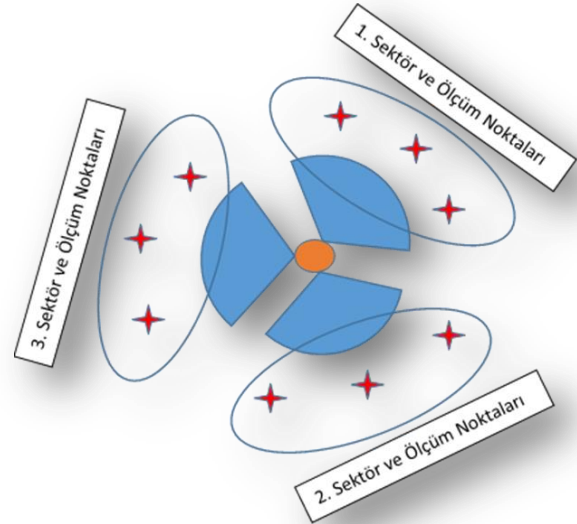
("Quick Overview" in the ECC/REC/(02)04 recommendation)

$$E_{Konumsal_Ortalama} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^3 E_l^2}{3}} \quad (4)$$

$$H_{Konumsal_Ortalama} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^3 H_l^2}{3}} \quad (5)$$

Türkiye’de yönetmelikle belirlenen ölçümlerde esas alınan süre aslında ICNIRP (Uluslararası İyonlaştırılmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu) tarafından belirlenen ve bir kaynaktan yayılan elektromanyetik alanın ortalama değerinin bulunduğu minimum süredir. Bu süreye göre yasal olarak yapılan veya bilimsel olarak yapılan her bir ölçüm, minimum 6 dakika süreyle gerçekleştirilmelidir.

Bunlara ek olarak ise Şekil 6’da görüldüğü üzere “ölçümlerin antenin yayın yaptığı yönden başlayarak sağından ve solundan olmak üzere en az 3 değişik noktadan ölçüm alınması gerektiği, baz istasyonları için her ölçümün en az 6 dakika sürmesi gerektiği ve yayına doğrudan maruz kalan bölgelerin ölçüm noktası olarak seçilmesi gerektiği” ifade edilmiştir.

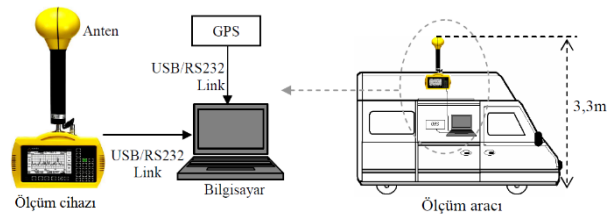


Şekil 6. Türkiye’de mevzuata göre baz istasyonu sektör yönleri ve ölçüm noktalarının temsili olarak gösterimi (Representation of base station sector directions and measurement points according to the legislation in Turkey)

3.3. Elektromanyetik Alan Kirlilik Haritaları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) (Electromagnetic Field Pollution Maps and Geographic Information Systems (GIS))

Ortamda elektromanyetik alanın ne seviyede olduğunu ölçmek, bu seviyeyi harita üzerinde göstermek ve konumsal olarak kıyaslamak amacıyla elektromanyetik alan kirlilik haritaları oluşturulmaktadır. Bu haritaların oluşturulmasında CBS’den faydalanılır. CBS’ler konum verileri ile konuma bağlı ilgili değerleri sayısal olarak analiz edebilen ve bunu ilgili harita üzerinde gösterebilen programlardır.

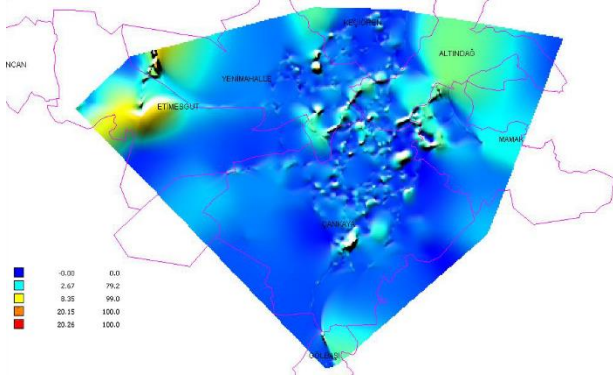
Elektromanyetik alan kirlilik haritalarının oluşturulmasında, ölçüm verileri ile ölçümlerin gerçekleştirildiği konum verileri (koordinat bilgisi) kullanılmaktadır. Böylelikle elektromanyetik alan kirlilik seviyesi limit değerlere oranla konuma bağlı olarak kıyaslanabilmekte ve bu kirliliğin hangi bölgelerde ne seviyede olduğu harita üzerinden görülebilmektedir. Ayrıca haritalama ile önlem alınması gereken noktalar da belirlenebilir.



Şekil 7. Elektromanyetik kirlilik haritası oluşturmada kullanılan tipik bir ölçüm düzeneği

(A typical measurement method used to create an electromagnetic pollution map)

Şekil 7’de elektromanyetik kirlilik haritası oluşturma işlemlerinde kullanılan genel bir düzenek görülmektedir [7]. Şekil 8’de ise Şekil 7’de kullanılan ölçüm düzeneği ile elde edilen verilerin birlikte kullanılarak bir CBS programı marifetiyle elektromanyetik kirlilik haritası elde edilmiş hali görülmektedir [7].

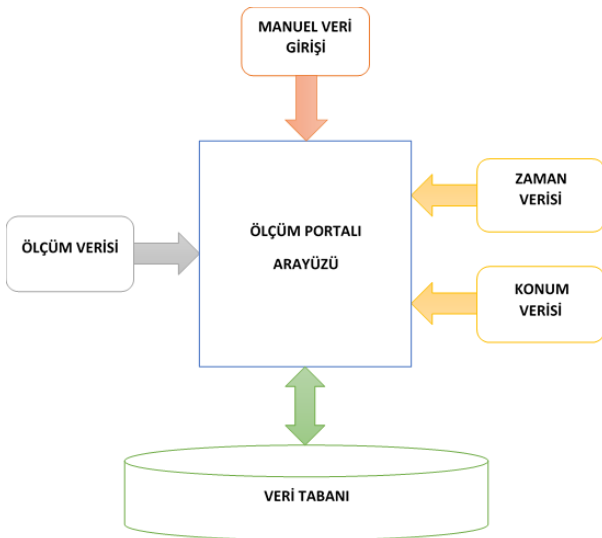


Şekil 8. Ölçüm ve konum verilerinin CBS ile kullanılarak elektromanyetik kirlilik haritası oluşturulması
(Establishment of electromagnetic pollution map using measurement and position data with GIS)

4. ÖLÇÜM PORTALI UYGULAMASI (THE MEASUREMENT PORTAL APPLICATION)

4.1. Sistemin Tanıtılması (Introducing the System)

Bu çalışmada geliştirilen model ile ölçüm, zaman ve konum verilerinin tek bir cihaz aracılığıyla elde edilip kaydedilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 9. Ölçüm Portalı uygulaması için sistem tasarımı
(The system design of the Measurement Portal)

Sistemde ölçüm verisi, ölçüm cihazından ölçüm süresince alınacak ve ortalama değer olarak kaydedilecektir. Zaman ve konum verisi android telefonun sisteminden temin edilecektir. Bu veriler manuel olarak girilemeyecek veya sonradan herhangi bir müdahale ile değiştirilemeyecektir. Manuel veri girişinin bulunduğu bölümde ise ölçüm yapılan sahanın ismi, hangi sektörün ölçüldüğü ve kaçınıcı ölçüm olduğu gibi veriler manuel olarak girilebilecektir. Yapılan her ölçümün 6 dakika sürmesi sağlanacak ve sonuç veritabanı bölümüne kaydedilecektir. Ölçüm Portalı adlı arayüz uygulamasının sistem tasarımı Şekil 9’da verilmiştir.

Geliştirilen model ile hem elektromanyetik alan haritalama işlemlerinde gerekli olan ölçüm ve konum verilerinin tek bir arayüz ile elde edilmesi hem de denetim amaçlı yapılan ölçümlerin yönetmelikte belirtildiği şekliyle yapılması, kaydedilmesi ve görüntülenmesi amaçlanmıştır. Yönetmeliğe göre; hücresel baz istasyonları için her ölçüm uluslararası standart dikkate alınarak, 6 dakikalık ortalama göre yapılır ve ölçümler antenin yayın paterni dikkate alınarak, yayına doğrudan maruz kalan bölgede en az 3 noktadan yapılır. Bu ifadelerle göre her baz istasyonu için en az 3 adet ölçüm gerçekleştirilmeli ve her bir ölçüm en az 6 dakika sürmelidir. Gerçekleştirilen Ölçüm Portalı uygulaması ile ölçüm yapan personelin bu hususlara uyması otomatik olarak sağlanmıştır. Dolayısıyla ölçüm süresi, zaman ve konum hususlarında inkâr edilemezlik sağlanmaktadır.

Şekil 10. Ölçüm Portalı uygulaması ekran görüntüsü
(The screenshot of the Measurement Portal application)

Ölçüm Portalı'nın oluşmasında üç önemli yapı bulunmaktadır. Bunlar;

- Ölçümün yapıldığı noktanın koordinat bilgisi,
- Ölçümün yapıldığı zaman ve her bir ölçümün süresi,
- Ölçüm verilerinin ölçüm sırasında cihazdan sisteme senkronize olarak alınabilmesidir.

Ölçüm Portalı, konum hizmetlerinin kolay kullanılabilmesinden ötürü Android işletim sistemli akıllı telefonlar için geliştirilmiştir. Ölçüm Portalı sistemin özellikleri şu şekildedir;

Sisteme sadece yetkili kişilerin giriş yapabilmesi amacıyla ilk defa kaydolacakların, yönetici tarafından verilen bir anahtar ile kaydolmaları sağlanmıştır. Dolayısıyla sadece yöneticinin anahtar verdiği kullanıcılar sisteme kaydolabilmektedir. Şekil 10'da Ölçüm Portalı sistemine başarılı giriş yapıldıktan sonra karşılaşılan ekran arayüzü görülmektedir.

Sisteme giriş yapıldığında ölçüm yapacak kişi Şekil 10'da verildiği gibi "Site ID, Sektör No, Ölçüm No, Tarih, Koordinat, Ölçümü Yapan ve Sonuç" bölümlerini görmektedir. Bu bölümler şu anlama gelmektedir;

- Site ID: Ölçümü yapılan baz istasyonunu simgeleyen tekil isim
- Sektör No: Ölçümü yapılan baz istasyonunun her bir yöne bakan antenlerinin numarası
- Ölçüm No: Her bir sektörden alınan ölçümlerin numarası (yönetmeliğe göre en az 3 ölçüm)
- Tarih: Ölçümün alındığı tarihi ve saati ile ölçümün alındığı dakika aralıkları (dakika aralığı en az 6 dakika olacak şekilde)
- Koordinat: Ölçümü yapan kişinin bulunduğu nokta, konum bilgisi
- Ölçümü Yapan: Sisteme giriş yapan ve ölçümü yapan kişi
- Sonuç: Ölçü aletinden saniyelik olarak alınan verinin ölçüm süresince ortalaması

Sisteme kayıt olduktan sonra giriş yapılacak, ölçüme başlanmadan önce telefonun konum servisleri açılacaktır. Konum servisleri açık olmayan telefonlarda sistem koordinat bölümünde "GPS'e erişilemedi" uyarısı vermektedir. Ölçüme başlanmadan önce ölçüme başla tuşuna basıldığında gerekli alanların doldurulması istenecektir. Gerekli alanlar doldurulduktan sonra ölçüme başlandığında 6 dakika boyunca herhangi bir müdahale yapılamamaktadır. Herhangi bir sorunda ise ölçüm başarısız olmakta ve kaydedilememektedir.

Ölçüm bittiğinde ölçüm kaydetme veya temizleyip yeni ölçüme başlama seçenekleri bulunmaktadır. Ölçüm yapan kişi sadece kendi yaptığı ölçümleri görüntüleyebilecektir. Yönetici yetkisi olan kişiler ise bütün ölçüm yapan kişilerin ölçüm kayıtlarını görüntüleyebileceklerdir. Şekil

11'de Ölçüm Portalı ile yapılmış ve kaydedilmiş bir ölçümün ekran görüntüsü görülmektedir.

15656	
Site ID	15656
Sektör No	1
Ölçüm No	3
Tarih	14/04/2017 15:10 - 15:16
Koordinat	E: 39,9495- B: 32,7701
Ölçüm Yapan	admin
SONUÇ	0.00111719139466

Şekil 11. Kayıtlı ölçümlerin görüntülenmesi
(Displaying the saved measurements)

4.2. Kullanılan Ekipmanlar (the Equipments Used)

Bu sistemde genişband ölçüm cihazları kullanılması amaçlanmıştır. Çünkü genellikle ölçümler uzak alan şartlarında ve genişband cihazlarla yapılmaktadır. Dolayısıyla Narda firmasının genişband cihazlarından NBM-550 cihazı kullanılmıştır. NBM-550 cihazı, veri aktarımının geliştirildiği ve kolaylaştırıldığı bir ölçüm cihazıdır. Cihazdan veri alınması için öncelikle bu cihazın ayrıntılı olarak tanınması gerekmektedir. Çünkü her cihazın veri bağlantısı için konfigürasyonları, veri gönderme ve alma için komutları farklıdır (cihaz komutları, üretici firmanın ürün paketi içinde gelmektedir ve bu komutlara üreticinin web sayfasında cihazla ilgili bölümlerinden ulaşılabilir).

NBM serisi cihazlar için konfigürasyonlar şu şekildedir;

- Baud rate: 115200
- 1 start bit,
- 8 data biti,
- 1 stop bit,
- Parity biti: Yok
- Flow kontrol (handshaking): Yok

Bu konfigürasyonlar Ölçüm Portalı uygulamasında varsayılan (default) olarak yapılmış olup genel seri port okuma ve yazma uygulamalarında cihazda kullanılan mikroişlemciye göre değişen ayarlardır. Gerekli konfigürasyonlar yapıldıktan sonra ölçüm cihazının telefona bağlanması için ara ekipmanlar gerekmektedir. USB tipli optik-elektrik dönüştürücü ile USB-OTG kablosu kullanılarak NBM-550 ölçüm cihazı telefona bağlanabilmektedir. Şekil 12’de NBM-550 cihazının telefona bağlantısı görülmektedir.



Şekil 12. Ölçüm cihazının telefon bağlantısı
(Connecting the measurement device to the phone)

4.3. Ölçüm Portalı ile Ölçüm Verilerinin Elde Edilmesi (Obtaining Measurement Data with Measurement Portal)

NBM-550 cihazı telefona bağlandıktan sonra sistemde ilgili alanlar doldurularak ölçümler gerçekleştirilebilmektedir. Kaydedilen ölçümler, sistemde veri tabanına kaydedilebilmekte ve istenildiğinde toplu bir şekilde tablo formatında bir excel dosyasına çıktı olarak alınabilmektedir. Tablo 2’de, örnek veriler ile bir baz istasyonu için yapılan ölçümlerin kaydedilip excel formatında çıkartılmış hali görülmektedir. Tablo incelendiğinde, örnek olarak verilen 3 sektörlü ve A isimli bir baz istasyonu için yönetmelikte belirtildiği gibi her sektör için 3 ölçüm, 6 dakika boyunca gerçekleştirilmiş ve bu veriler ölçümlerin yapıldığı konumun koordinat verisi, ölçüm zamanı, süresi ve ölçüm verisi ile birlikte tek bir arayüz ile elde edilerek kaydedilmiştir. Ayrıca Ölçüm Portalı ile elde edilen veriler aynı zamanda elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturma işlemlerinde de gerekli olan veriler olduğu için, bu sistem elektromanyetik alan haritalama çalışmalarında da kullanılabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULT AND SUGGESTIONS)

Bu çalışma ile, elektromanyetik alan ölçümlerinin yönetmelikte belirlendiği şekilde gerçekleştirilmesine ve elektromanyetik alan kirlilik haritalarının oluşturulmasında yönelik kullanılan verilerin tek bir arayüz ile elde edilmesi ve ölçüm ve denetimlerin ulusal ve uluslararası standartlara uygun şekilde yapılması sağlanmıştır. Geliştirilen uygulama ile bir Ölçüm Portalı sistemi geliştirilerek, sektörde ve akademik çalışmalarda kullanılabilirliği sağlanması amaçlanmıştır. Oluşturulan android tabanlı yazılım ve cep telefonu kontrollü ölçüm sistemi sayesinde, elektromanyetik alan kirlilik haritası işlemlerinde kullanılan ölçüm sisteminin maliyeti düşürülmüş, verilerin gerçek zamanlı ölçülmesi ve değerlendirilmesi işlemi daha basit bir hale getirilmiştir. Ayrıca kullanılan cep telefonu yardımıyla konum bilgisinin ve kayıt zamanı bilgisinin otomatik olarak alınması ve kaydedilmesi sağlanmıştır.

Tablo 2. Ölçüm Portalı sisteminden elde edilen veriler
(Data obtained from the Measurement Portal system)

Sıra No	Site ID	Sektör No	Ölçüm No	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Koordinat	Ölçüm Yapan	Ölçüm Sonucu
1	A	1	1	12.04.2017 15:00	12.04.2017 15:06	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.557
2	A	1	2	12.04.2017 15:07	12.04.2017 15:13	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.670
3	A	1	3	12.04.2017 15:14	12.04.2017 15:20	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.230
4	A	2	1	12.04.2017 15:21	12.04.2017 15:27	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.341
5	A	2	2	12.04.2017 15:28	12.04.2017 15:34	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.325
6	A	2	3	12.04.2017 15:35	12.04.2017 15:41	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.462
7	A	3	1	12.04.2017 15:42	12.04.2017 15:48	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.993
8	A	3	2	12.04.2017 15:49	12.04.2017 15:55	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.123
9	A	3	3	12.04.2017 15:56	12.04.2017 16:02	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.114

Tasarlanan yazılımın basit ve diğer uygulamalara kolay uyum sağlayabilir olması sistemin diğer bir avantajı olarak görülmektedir. İlerleyen aşamalarda bu sisteme etkin bir raporlama sistemi eklenmesiyle elektromanyetik alan ölçümü işlemlerinde sektörde daha fazla kullanımı sağlanabilecektir. Ölçüm Portalı sistemi, sektörde ölçüm ve denetimde kullanılan bütün ölçüm cihazları ile çalışabilir hale getirilmesi kullanımının artmasında ve etkin bir denetim yapılabilmesinde faydalı olacaktır. Ayrıca bu sistemin elektromanyetik alan kirlilik haritalarının hazırlanması ile ilgili yapılacak akademik çalışmalarda kullanılması, büyük kolaylık sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ö. Genç, **Radio Frekanslarında Elektromanyetik Kirliliğe GSM Bandlarının Etkisinin Analizi**, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [2] İnternet: BTK, Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik, <http://www.mevzuat.gov.tr>, 16.05.2017.
- [3] M. Bertocco, M. Farias, C. Offelli ve A. Sona, "A Measurement System for the Evaluation of Environmental", **Instrumentation and Measurement Technology Conference**, Anchorage, AK, USA, 1277-1281, 21-23 Mayıs 2002.
- [4] H. Saitoh, "GPS Synchronized Measurement Applications in Japan", **Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002**, Yokohama, Japan, 494-499, 6-10 Ekim 2002.
- [5] C. Giliberti, F. Boella, A. Bedini, R. Palomba ve L. Giuliani, "Electromagnetic Mapping of Urban Areas: The Example of Monselice (Italy)", **Piers Online**, 5(1), 56-60, 2009.
- [6] N. Stefu, I. Solyom ve A. Arama, "Radiofrequency Electromagnetic Field Map of Timisoara", **Annals of West University of Timisoara – Physics**, 58(1), 73-80, 2015.
- [7] A. R. Özdemir, **Ankara, İstanbul ve İzmir Şehirlerinde Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Hazırlanması ve Elektromanyetik Kirliliğin Azaltılması Yönünde Öneriler**, Uzmanlık Tezi, Telekomünikasyon Kurumu, 2004.
- [8] T. İnce, **Elektromanyetik Kirlilik**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [9] O. Uygunol, **Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla GSM Baz İstasyonlarında Elektromanyetik Alan Kirliliğinin Tespiti ve Konya Örneği**, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [10] M. Cansız, **Diyarbakır İl Merkezinin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması ve Durum Değerlendirilmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [11] A. Ö. Polat, **Karaman İli Şehir Merkezi ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesi'nin Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması**, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [12] A. Keysan, **Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nin elektromanyetik alan haritası**, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [13] O. Çerezci, "Elektromanyetik Kirlilik", **Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri**, Cilt 1, Editör: Türkkan A., F. Özsan Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti., Bursa, 11-26, 2012.
- [14] S. Şeker ve O. Çerezci, **Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları**, Bogaziçi Üniversitesi Yayınları, 548, İstanbul, 2003.
- [15] A. Bibi, **Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Anten Tesislerinin Çevre Duyarlılığı Açısından İncelenmesi; Oluşturduğu Etkiler ve Alınabilecek Tedbirler, Dünya Uygulamaları ve Türkiye İçin Çözüm Önerileri**, Teknik Uzmanlık Tezi, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2015.
- [16] H. J. Visser, **Array and Phased Array Antenna Basics**, John Wiley & Sons Ltd., New York, A.B.D., 2005.
- [17] C. A. Balanis, **Antenna Theory Analysis and Design**, John Wiley & Sons, New York, A.B.D., 1997.
- [18] L. S. Warren ve A. T. Gary, **Antenna Theory and Design**, John Wiley & Sons, New York, A.B.D., 1998.
- [19] H. Trzaska, **Electromagnetic Field Measurements in the Near Field**, Noble Publishing, Atlanta, A.B.D., 2001.
- [20] G. Solari ve G. Viciguerra, "Frequency Selective Measurements of Electric Field (100 kHz - 2.5GHz) and Magnetic Field (100 kHz -120 MHz) with Active Electro-Optical Receiving Antennas", **The 16th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility EMC**, Zurich, Switzerland, 14-18 Şubat 2005.
- [21] İnternet: ECC Recommendations, *Measuring Non-Ionising Electromagnetic Radiation (9 kHz – 300 GHz)*, Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), <http://www.erodocdb.dk>, 16.05.2017.
- [22] F. Çerezci, **K-Means Algoritması ile Elektromanyetik Kirlilik Analizi**, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Olasılıksal Kapsama Oranının Optimizasyonu için Yeni Bir Meta-Sezgisel Yaklaşım

Recep ÖZDAĞ

Bilgisayar Mühendisliği, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye

rozdag@yyu.edu.tr

(Geliş/Received:01.06.2017; Kabul/Accepted:08.10.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.318158

Özet— Askeri ve sivil ortamlardaki kritik bölgelerin aktif olarak gözetlenmesi bakımından ilgili alanın tümünün kapsama oranının optimizasyonu Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA)'ların alandaki etkinliğini belirler. KAA'lardaki kapsama problemi alanın algılayıcı düğümler tarafından etkin olarak kapsanmasını belirleyen kritik faktörlerden biridir. Literatürde alan kapsama ve hedef kapsama olarak sınıflandırılan kapsama problemindeki amaç; tüm alanın veya alanda deterministik olarak belirlenen hedeflerin dağıtılan düğümler tarafından etkin olarak kapsanmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda ilgili alanda algılayıcı düğümlerin optimum dinamik dağıtımları yapılarak KAA'lardaki kapsama problemine optimum bir çözüm bulunabilir. Bu çalışmada, alan kapsama problemi dikkate alınıp mobil ve statik düğümlerden oluşan heterojen düğümler kullanılarak Olasılıksal Tarama Modeline göre ağın kapsama oranı optimize edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; meta-sezgisel olan Elektromagnetizma-Benzer (Electromagnetism-Like – EM) algoritması esas alınarak KAA'lar için yeni bir dinamik dağıtım algoritma yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşım literatürdeki EM algoritmasını temel alan Optimum Algılayıcı Tarama Algoritması (Optimal Sensor Detection Algorithm based on EM – OSDA-EM) ile karşılaştırılması yapılarak bu yöntemin performansı ve etkinliği ölçülmüştür. Simülasyon sonuçları; geliştirilen yöntemin tüm alanın olasıksal kapsama probleminin çözümünde hem kapsama oranı hem de düğümlerin yakınsama hızı açısından optimum sonuçlar verdiğini ve önerilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler— kablosuz algılayıcı ağlar, alan kapsama problemi, dinamik dağıtım, olasıksal tarama modeli, elektromagnetizma-benzer algoritması

A New Meta-Heuristic Approach for Optimization of Probabilistic Coverage Rate in Wireless Sensor Networks

Abstract— The optimization of the coverage rate of the entire field of interest in terms of active surveillance of critical regions in military and civil environments determines the efficiency of the Wireless Sensor Networks (WSN) in the area. The coverage problem in WSNs is one of the critical factors that have determined the effective coverage of the area by the sensor nodes. The purpose in coverage problem, which is classified as area coverage and target coverage in the literature, is to ensure that the entire area or deterministically-specified targets in the area are effectively covered by the distributed nodes. In accordance with this purpose, an optimum solution can be found for the coverage problem in WSNs by performing the optimum dynamic deployments of sensor nodes in the field of interest. In this study, an attempt to optimize the coverage rate of the network was made according to the Probabilistic Detection Model using heterogeneous nodes consisting of mobile and static nodes by taking into account the area coverage problem. For this purpose, a new dynamic deployment algorithm approach was developed for WSNs based on Electromagnetism-Like (EM) algorithm which is meta-heuristic. This approach was compared with the Optimal Sensor Detection Algorithm based on EM (OSDA-EM) in the literature, and the performance and effectiveness of this method were measured. Simulation results indicated that the developed method produced optimum results in terms of coverage rate and convergence rate of the nodes in the solution of the probabilistic coverage problem of the entire area and that it could be proposed.

Keywords— wireless sensor networks, area coverage problem, dynamic deployment, probabilistic distribution model, electromagnetism-like algorithm

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

KAA'lar askeri gözetleme [1], doğal ortamın izlenmesi [2], orman yangını tespiti [3] gibi çoğu uygulamaların ortaya çıkmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür uygulamalar için ortak olan görüş: her algılayıcı kendi algılama aralığı içerisinde meydana gelen olayları algılayabilir ve algılayıcılar işlem merkezine bu olayları iletmek için işbirliği içerisinde çalışırlar [4]. Bu uygulamalarda kabul edilebilir servis kalitesine (Quality of Service-QoS [5]) ulaşmak için yeterli derecede algılamanın sağlanması önemli bir gereksinimdir [6].

KAA'ların etkin olarak kapsama konusu literatürde sıklıkla çalışılan problemlerin başında gelir. Algılayıcı düğümlerin deterministik veya stokastik (rastgele) dağıtıldığı ilgili alanda alan kapsama (area coverage) ve hedef kapsama (target coverage) olarak kapsama problemi sınıflandırılır [7]. Alan kapsamada; dağıtılan düğümler ile alandaki her bir hedef noktasının en az bir algılayıcı düğüm tarafından kapsanıp kapsanmadığı kontrol edilirken, hedef kapsamada ise ilgili alanda deterministik olarak belirlenen hedef noktaların kapsama durumları kontrol edilir.

KAA'ların kapsama problemlerinin çözümünde temel olan iki algılayıcı tarama modeli esas alınır. İlk model; İkili Tarama Modeli (Binary Detection Model) [8, 9]'dir. Bu model de algılayıcı düğüm kendi tarama yarıçapı mesafesi içerisinde konumlanan bir hedefi %100 olasılıkla algılar. Fakat bu mesafe dışındaki herhangi bir hedef noktasını ise algılamaz. Bu algılama modeli daha çok arazideki düğümlerin algılamalarını fiziksel olarak engelleyecek herhangi bir çevresel etkenin olmadığı ve algılayıcıların sadece kendi tarama yarıçapı içindeki tüm hedefleri mükemmel bir olasılık ile kapsadığı varsayımı üzerine çalışır. Bu model algılayıcıların algılama kapasitesini tümüyle kullanamayabilir. Çünkü gereğinden fazla düğümün dağıtılarak aktif olması düğümlerin enerjilerinin boşa harcanarak ağın yaşam süresinin azalmasına sebep olacaktır. İkinci model ise, Olasılıksal Tarama Modeli (Probabilistic Detection Model) [10, 11] dir. Bu modelde düğüm kendi merkezinden başlamak üzere belirli bir mesafeye kadar olan hedefleri çevresel etkenlerden dolayı farklı olasılıksal değerler ile algılar. Disk modeline göre hedefler daha gerçekçi bir şekilde algılanır.

Bu makalede, ilgili alanda başlangıçta rastgele olarak dağıtımı yapılacak olan mobil ve statik düğümlerden oluşan homojen düğüm kümesi kullanılarak Olasılıksal Tarama Modeli ile alanın kapsama oranı optimize edilecektir. Bu amaçla; meta-sezgisel olan Elektromagnetizma-Benzer algoritmasını temel alan Olasılıksal Maksimum Alan Tarama Algoritması (Probabilistic Maximum Area Detection Algorithm based on Electromagnetism-Like-PMADA-EM) geliştirilmiştir.

Bu makalede, Bölüm 2'de literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Bölüm 3'de KAA'lardaki dinamik dağıtım problemi açıklanarak algılayıcı tarama modellerinden bahsedilmiştir. Bölüm 4'te bu çalışmadaki düğümlerin dinamik dağıtımında esas alınan EM algoritması açıklanmış ve kapsama probleminin çözümü için Olasılıksal Tarama Modeli kullanılarak geliştirilen algoritma sunulmuştur. Bölüm 5'de ise, MATLAB ortamında elde edilen deneysel bulgular OSDA-EM ile karşılaştırılarak tartışılmış ve ulaşılan nihai sonuçlar Bölüm 6'da sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE RESEARCH)

Algılayıcıların dinamik dağıtımlarının etkin olarak yapılması KAA'ların kapsama oranlarının optimizasyonunda en önemli bir faktör olduğu şimdiye kadar yapılan literatürdeki çeşitli algoritma ve yeni yaklaşım çalışmaları ile tespit edilmiştir. Çeşitli dinamik dağıtım stratejilerinden faydalanılarak alandaki algılayıcı düğümlerin dinamik dağıtımlarının yapılması bu çalışmaların ana hedefini oluşturmaktadır. Literatürde sezgisel olmayan algoritmalar kullanılarak ikili tarama modeli ile gerçekleştirilen çalışmalar [8, 12, 13, 14] mevcuttur. Bu makalede, meta-sezgisel algoritma esas alınarak alan kapsama probleminin çözüm bulunacağı için bu bölümde literatürde ağırlıklı olarak çalışılan sezgisel algoritma tabanlı yeni yaklaşımlar incelenecektir. Düğümlerin hareketinden faydalanılarak yapılacak algılayıcı dağıtımı için kullanılan sezgisel algoritmalarından biri de Sanal Kuvvet Algoritması (Virtual Force Algorithm-VFA)'dır. VFA esas alınarak geliştirilen birçok yaklaşımda araştırmacılar ağın kapsama oranını optimize etmeye çalışmışlardır. Öncelikle Zou ve ark. [15], her bir düğümün;

1. Engeller tarafından uygulanan itme kuvveti,
2. Öncelikli kapsama alanı tarafından uygulanan çekme kuvveti (yüksek dereceli kapsamanın gerekli olduğu hassas kapsama),
3. Diğer düğümler tarafından uygulanan itme ve çekme kuvveti,

olarak tanımlanan üç tür kuvvete maruz kaldığını varsayarak VFA'yı temel alan dinamik dağıtım algoritması tasarlamışlardır. VFA ile düğümlerin dağıtımında ihmal edilebilir hesaplama süresini ve yeniden konumlanmalarını içeren bir dizi avantaj elde etmişlerdir. Ayrıca önerilen Olasılıksal Konumlama Algoritmasının kuvvet yönelimli algılayıcı yerleşimi ile nasıl kullanılabilirliği ve hedef tespiti için enerji tüketimini kayda değer bir şekilde azaltabileceği gösterilmiştir.

Garetto ve ark. [16], mobil düğümlerin yeniden dağıtımını dikkate alarak çevresel izleme için düğümlerin kendi kendine dağılımını ve olay tabanlı yeniden yerleşimini mümkün kılan ve VFA'yı temel alan dağıtık bir algılayıcı yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşımda

fiziksel bir olgu veya çevresel felaket gibi bir olay meydana geldiğinde düğümler hedef konum çevresinde kendilerini yeniden konumlandırır. Önerilen algoritma optimum yaklaşım ile karşılaştırıldığında hem düğümlerin toplam hareketi hem de sistemin duyarlılığı açısından tatmin edici bir performans sağlamıştır.

Li ve ark. [17], Hedef İlişkili Sanal Kuvvet Algoritması (Target Involved Virtual Force Algorithm–TIVFA) tabanlı algılayıcı dağıtım optimizasyon stratejisini geliştirmişlerdir. Ayrıca algılayıcı koruması için bazı sezgisel kurallar ve geliştirilen algılayıcı sıralama algoritmasını sunmuşlardır. TIVFA kapsama ve tarama olasılığını artırmak için alanlara ve tespit edilen hedeflere göre algılayıcı ağların yapısını dinamik olarak ayarlayabilir. Yapılan deneysel çalışmalardan; TIVFA'nın algılayıcı ağlarda çoklu hedef izleme problemi için etkili bir yaklaşım olduğu ve geliştirilen algılayıcı sıralama algoritması ile algılayıcı koruma stratejisi sayesinde kuvvetli bir algılayıcı ağ oluşturabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kukunuru ve ark. [18], daha iyi bir kapsama oranına ulaşmak için VFA ile Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization–PSO)'nu birleştirerek VFPSO algoritmasını önermişlerdir. VFPSO ile KAA'lardaki minimum sayıda algılayıcı kullanılarak kapsama probleminin optimum çözümüne ulaşmak mümkün olmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar PSO yaklaşımının algılayıcı dağıtımının etkin kapsama problemi için etkili olduğunu ve KAA'larda yaklaşık optimum çözüm verdiğini göstermiştir. Ayrıca Yu ve ark. [19], algılayıcı düğümlerin VFA ile dağıtımı için Çifte Korelasyon Saptırma (Pair Correlation Diversion) olarak isimlendirilen yeni bir metrik ile Sanal Yay Kuvveti (Virtual Spring Force–VSF) yaklaşımını önermişlerdir.

Literatürde düğümlerin hareketliliğini sağlayarak dinamik dağıtımın yapıldığı bir diğer meta-sezgisel algoritma ise PSO'dur. PSO üzerinde iyileştirmeler yapılarak statik ve mobil düğümlerin dağıtımının yapıldığı Paralel PSO (PPSO) [20] geliştirilmiştir. Li ve ark. [21], PSO ile uygunluk fonksiyonunda iyileştirmeler sonucunda Olasılıksal Tarama Modelini kullanarak VFA'dan daha iyi kapsama oranına ulaşılmışlardır.

Bal arıların zeki yiyecek arama davranışlarını modelleyen sezgisel bir algoritma olan Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony–ABC) kullanılarak KAA'larda düğümlerin dinamik dağıtımları gerçekleştirilmiştir. Öztürk ve ark. [22], öncelikle mobil düğümleri kullanarak İkili Tarama Modeli ile düğümlerin kapsama oranının optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Sonrasında hem statik hem de mobil düğümler ile Olasılıksal Tarama Modelini kullanarak PSO'dan daha iyi alan kapsama oranına ulaşılmıştır [23].

Literatürdeki optimizasyon algoritmalarından biri de meta-sezgisel EM [24] algoritmasıdır. Algılayıcı

düğümler arasındaki mesafeyi esas alarak düğümlerin dinamik dağıtımlarını yapmak için EM algoritmasını temel alan dağıtım algoritması [9] geliştirilerek öncelikle İkili Tarama Modeline uygulanmıştır. Sonrasında ise, geliştirilen OSDA-EM [11] Olasılıksal Tarama Modeline uygulanarak hem ABC hem de PSO'ya göre ağır kapsama oranı ve düğümlerin yakınsama hızları açısından optimum sonuçlara ulaşılmıştır.

3. DİNAMİK DAĞITIM PROBLEMİ VE ALGILAYICI TARAMA MODELLERİ (DYNAMIC DEPLOYMENT PROBLEM AND SENSOR DETECTION MODELS)

KAA'larda dağıtım problemi ilgili alanda başlangıçta rastgele olarak dağıtılan düğümlerin deterministik olarak istenen alana veya hedef noktasına yerleşmemesinden kaynaklanmaktadır. Dağıtım probleminin çözümü düğümlerin etkin bir şekilde dinamik dağıtımlarının yapılması ile mümkün olur. İki farklı algılayıcı tarama modellemesi esas alınarak ağır kapsama oranının tespiti yapılabilmektedir.

3.1. İkili Tarama Modeli (Binary Detection Model)

Bu modelde algılayıcı düğüm konumlandığı alandaki her bir hedef noktasını kendi tarama yarıçapı (r) mesafesine göre;

1. %100 olasılık ile algılayarak o hedef noktasında tam bir kapsama oluşturur,
2. %0 olasılık ile algılayarak o hedef noktasında hiçbir kapsama oluşturmaz.

İlgili alanda (x^i, y^i) koordinatına konumlandığı varsayılan S^i düğümü ile kapsama durumu tespit edilecek olan (x, y) koordinatındaki P^{xy} hedef noktası arasındaki Öklid mesafesi $d(S^i, P^{xy}) = \sqrt{(x^i - x)^2 + (y^i - y)^2}$ eşitliği kullanılarak hesaplanır ve P^{xy} noktasının İkili Kapsama Oranı (Binary Coverage Rate – BCR) Eş. (1) [24] ile hesaplanır.

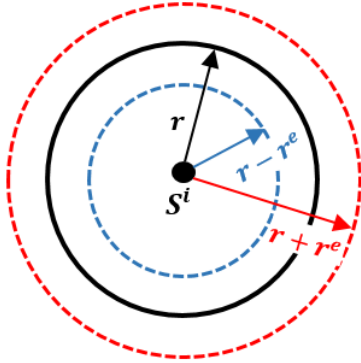
$$BCR^{xy}(S^i) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } d(S^i, P^{xy}) \leq r \\ 0, & \text{eğer } d(S^i, P^{xy}) > r \end{cases} \quad (1)$$

3.2. Olasılıksal Tarama Modeli (Probabilistic Detection Model)

Bu modelde alandaki S^i düğümü ile her bir P^{xy} hedef noktası arasındaki Öklid mesafesi esas alınarak Eş. (2)'ye göre hedeflerin Olasılıksal Kapsama Oranı (Probabilistic Coverage Rate – PCR) hesaplanır [10].

$$PCR^{xy}(S^i) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } r + r^e \leq d(S^i, P^{xy}) \\ e^{-\lambda\alpha^\beta}, & \text{eğer } r - r^e < d(S^i, P^{xy}) < r + r^e \\ 1, & \text{eğer } r - r^e \geq d(S^i, P^{xy}) \end{cases} \quad (2)$$

Verilen denklemde r^e düğümlerin hatalı tarama yarıçapını, λ , β ve $\alpha = d(S^i, P^{xy}) - (r - r^e)$ ise ölçüm parametrelerini temsil etmektedir. Bu modelde düğüm kendi tarama yarıçapı içindeki tüm hedef noktaları aynı oranda kapsamaz. Çünkü bu modelde $r^e \neq 0$ için düğümlerin hatalı tarama aralığı da dikkate alınarak her bir P^{xy} noktasının PCR hesaplaması yapılır. Bu modelin İkili Tarama Modelinden farkı; S^i düğümü P^{xy} noktasına göre $r - r^e$ ile $r + r^e$ aralığına yerleşmesi durumunda hesaplanacak olan PCR'ye göre bu hedefi tarar. Diğer durumlarda S^i düğümü hedef noktasını 0 ile $(r - r^e)$ aralığında %100 olasılıkla, $(r + r^e)$ ile $+\infty$ aralığında ise %0 olasılık ile taramaktadır (Şekil 1).



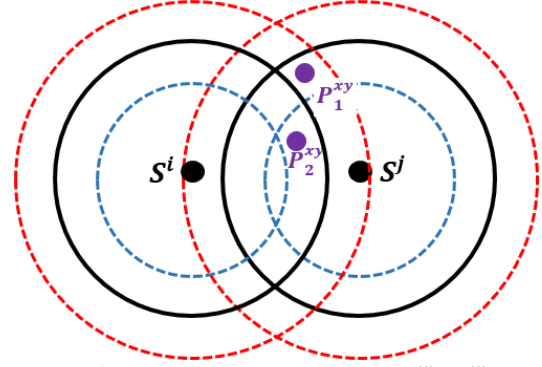
Şekil 1. S^i düğümünün PCR hesaplamasında esas alınan yarıçap mesafeleri
(Radius distances based on the PCR calculation of the S^i node)

Bu modelde, mesela, P_1^{xy} hedef noktası Şekil 2'de gösterilen konumda, S^i düğümünün $r + r^e$ tarama aralığı ve S^j düğümünün r tarama aralığı içinde, kapsadığı varsayalım. Bu durumda P_1^{xy} hedefinin PCR'si Eş. (3)'e göre hesaplanır.

$$PCR^{xy}(S^i, S^j) = 1 - (1 - PCR^{xy}(S^i))(1 - PCR^{xy}(S^j)) \quad (3)$$

Ayrıca, Şekil 2'de P_2^{xy} noktasını r tarama yarıçapı aralığı içinde kapsayan birden fazla düğüm olur ise bu hedef noktasında düğüm çakışması (overlap) oluşur. Bu durumda, çakışma oluşturan n adet S düğüm kümesi olan $S^{overlap} \subseteq \{S^1, S^2, \dots, S^n\}$ 'in hedef noktasındaki PCR'si Eş. (4)'e göre hesaplanır [15].

$$PCR^{xy}(S^{overlap}) = 1 - \prod_{S^i \in S^{overlap}} (1 - PCR^{xy}(S^i)) \quad (4)$$



Şekil 2. S^i, S^j düğümlerinin taradığı P_1^{xy}, P_2^{xy} hedef noktaları ve oluşan çakışma alanı
(P_1^{xy}, P_2^{xy} destination points detected by nodes S^i, S^j and obtained overlap area)

İlgili alandaki her bir hedef noktasının olasılıksal kapsama oranı ağırlık kapsama oranı eşik değeri (cr^{th}) parametresi ile karşılaştırılarak Eş. (5)'e göre $\forall P^{xy}$ 'nin Olasılıksal Kapsama Durumu (Probabilistic Coverage State - PCS) hesaplanır. Böylece alandaki tüm hedeflerin PCS'si hesaplanarak alanda cr^{th} 'ye göre olasılıksal olarak kapsanan hedef sayısı tespit edilir.

$$PCS(P^{xy}) = \begin{cases} 1, & PCR^{xy}(\forall S^i) \geq cr^{th} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (5)$$

4. ÖNERİLEN YAKLAŞIM (PROPOSED APPROACH)

Bu çalışmada, ilgili alanda rastgele olarak dağıtılan düğümlerin deterministik olarak dinamik dağıtımlarının yapılabilmesi için literatürdeki EM algoritması esas alınmıştır.

4.1. EM Algoritması (EM Algorithm)

Global optimizasyon amacıyla elektromanyetik olarak yüklü olan parçacıkların optimuma doğru hızlı bir şekilde yakınsamasını sağlayan ve bu parçacıklar arasındaki itme - çekme hareketinden esinlenerek Birbil ve Fang [24] tarafından geliştirilip modellenen meta-sezgisel [26, 27] ve popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Doğrusal olmayan ve gerçek değerli problemlerin optimize edilmesi için tasarlanmasına rağmen sayısal problemler ile daha optimum sonuçlara ulaşılabilmiştir [28]. Çoklu nokta algoritması benzeri olan EM algoritması aynı zamanda olası bir bölgenin örnek noktalar (popülasyon) kümesi üzerinde çalışır ve elde edilen fonksiyonel değerlerin (uygunluk fonksiyonu) göreceli etkinliğine göre işler. EM algoritması çoklu arama, global optimizasyon, daha hızlı yakınsama ve eş zamanlı olarak çözüm uzayındaki noktaların çoğunu değerlendirme avantajına sahiptir [29]. EM algoritması Eş. (6)'da tanımlı olan alt ve üst sınır değişkenleri ile optimizasyon problemlerine uygulanır.

$$\min f(x) \in S,$$

$$S = \{x \in \mathbb{R}^n \mid \ell_i \leq x_i \leq u_i : \ell_i, u_i \in \mathbb{R}, i = 1, 2, \dots, n\}, \quad (6)$$

Verilen denklemde, n problemin boyutunu, $f(x)$ minimize edilecek uygunluk fonksiyonunu, ℓ_i ve u_i çözüm uzayının alt ve sınırını, x_i ise her bir parçacığı temsil eder.

Şekil 3'de gösterilen EM algoritması *tanımlama()*, *yerel arama()*, *hesaplama()* ve *konum değiştirme()* olmak üzere 4 temel yordamdan oluşur.

Algoritma 1

- 1: Popülasyonu *Tanımla()*
- 2: iterasyon $\leftarrow 1$
- 3: **while** iterasyon $< iter_{mak}$ **do**
- 4: Yerel noktaları *arama()*
- 5: Parçacıkların yükünü ve bileşke kuvvetini *hesapla()*
- 6: Parçacıkların konumunu *değiştir()*
- 7: iterasyon $\leftarrow iterasyon + 1$
- 8: **end while**

Şekil 3. EM Algoritması ve temel yordamları [24]
(EM Algorithm and basic procedures)

4.1.1. Tanımlama Yordamı (Initialization Procedure)

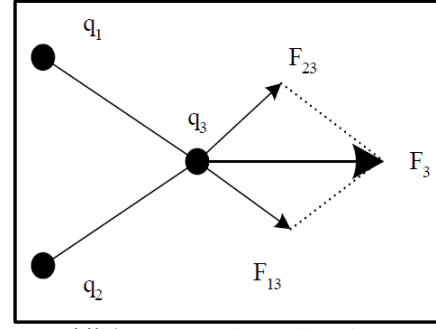
n boyutlu çözüm uzayında her bir x örnek noktanın rastgele olarak dağıtıldığı ve örnek noktanın $f(x)$ olan uygunluk (amaç) fonksiyonunun hesaplandığı yordamdır. Eş. (6)'ya göre bir noktanın koordinatlarının çözüm uzayının üst ve alt sınırı arasında normal olarak dağıtıldığı varsayılır.

4.1.2. Yerel Arama Yordamı (Local Search Procedure)

x örnek noktanın yerel bilgilerini toplamak amacıyla kullanıldığı yordamdır. Fakat çok fazla zaman harcadığından dolayı göz ardı edilebilmektedir.

4.1.3. Hesaplama Yordamı (Calculation Procedure)

Çözüm uzayındaki her bir parçacık yükünün (q) ve bu parçacıkların birbirine uyguladığı kuvvetlerin (F) hesaplandığı yordamdır. Bir noktayı temsil eden parçacığın q yük değeri onun diğer parçacıklara uygulayacağı F itme ve çekme kuvvetinin büyüklüğünü belirler. Her bir örnek noktaya uygulanacak bileşke kuvvet Coulomb yasasına göre hesaplanır. Buna göre parçacıkların birbirine uygulayacağı kuvvetin büyüklüğü q yükleri ile doğru orantılı, aralarındaki d Öklid mesafesi ile de ters orantılı olarak değişir. Şekil 4'te gösterilen süper pozisyon ilkesine göre çözüm uzayındaki q_3 yüklü olan bir parçacığa uygulanacak olan elektromanyetik kuvvet ayırık olarak diğer parçacıkların her biri tarafından uygulanan F_{13} ve F_{23} kuvvetlerinin bileşkesi alınarak hesaplanır. Dolayısıyla q_3 yüklü parçacık diğer parçacıklar tarafından kendisine uygulanan itme ve çekme kuvvetlerinin bileşkesi yönünde (F_3) hareket eder.



Şekil 4. Süperpozisyon ilkesi [24]
(Superposition principle)

4.1.4. Konum Değiştirme Yordamı (Location Replacement Procedure)

Optimum parçacık $f(x^{best})$ hariç çözüm uzayındaki tüm parçacıkların bileşke kuvvet vektörü yönünde (Şekil 4) hareket ederek konumlarının değiştirildiği yordamdır. Optimum parçacık uygunluk fonksiyon değeri en iyi olan ve bu sebeple de yük değeri 1 olan parçacıktır. Dolayısıyla optimum parçacık diğer tüm parçacıkları kendisine doğru çekeceği için çözüm uzayında konumunu değiştirmez. Parçacıklar bileşke kuvvetin büyüklüğü ile orantılı olarak yer değiştirirler. Şekil 4'e göre eğer q_3 yüklü parçacığa uygulanan $F_3 > 0$ ise bu parçacık çözüm uzayında üst sınıra doğru hareket eder, aksi durumda ise alt sınıra doğru hareket ederek mevcut konumunu günceller.

4.2. Olasılıksal Maksimum Alan Tarama Algoritması (Probabilistic Maximum Area Detection Algorithm)

Bu makalede, KAA'nın olasılıksal kapsama problemine çözüm bulmak için EM algoritmasındaki her parçacık ilgili alanda bir algılayıcı düğüm olarak temsil edilerek mobil düğümlerin dinamik dağıtımları yapılmıştır. İlgili alanda hem mobil hem de statik düğümler kullanılarak Olasılıksal Tarama Modeli ile ağın kapsama oranını optimize etmek amacıyla EM algoritmasını temel alan yeni bir meta-sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen PMADA-EM ile mobil düğümlerin etkin bir şekilde dinamik dağıtımları yapılarak ağı tanımlanan eşik değerine göre her bir hedef noktasının optimum olarak kapsanması amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için;

1. PMADA-EM ile her bir hedef noktasının en az bir düğüm tarafından kapsanabilmesi,
2. Aynı hedef noktalarını kapsayan düğümlerin çakışmalarını minimize etmek için bu hedeflerin daha az düğüm tarafından kapsanabilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, düğümler rastgele bir şekilde dağıtılarak ilgili alandaki başlangıç konumları belirlenmiştir. Statik düğümlerin mobilize özelliği olmadığı için başlangıç konumları sabitlenerek bu düğümlere dinamik dağıtım uygulanmamıştır. Geliştirilen yaklaşımda tüm düğümlerin $f(x)$ değerleri esas alınarak sadece mobil düğümlerin

dinamik dağıtımları yapılmıştır. Dolayısıyla mobil düğümlerin etkin dinamik dağıtımları için $f(x)$ maksimize edilerek alanda daha iyi bir çözüme doğru hareket etmeleri sağlanmıştır. Mobil düğümlerin kapsadığı hedef noktalar esas alınarak PMADA-EM'nin $f(x)$ 'i Şekil 5'deki *Algoritma 2* tarafından hesaplanmıştır.

Algoritma 2'de tüm düğümlerin $f(x)$ 'leri hesaplanırken öncelikle her bir hedef noktasını r tarama yarıçap mesafesi içinde kapsayan düğümler tespit edilir. Eğer hedef noktaları sadece tek bir düğüm tarafından kapsanır ise (9. adım), bu düğümün mobil veya statik olmasına bakılmaksızın $f(x)$ güncellemesi yapılır. Hedef noktaların birden fazla düğüm tarafından kapsanması durumunda ise (11. adım), bu düğümlerin mobil veya statik olması göz önünde bulundurularak $f(x)$ hesaplaması yapılır. Eğer P^{xy} hedef noktasını kapsayan düğümlerin tümü optimum olan mobil düğümlerin veya statik düğümlerin üyesi değil ise (12. adım), bu mobil düğümlerin tümünün $f(x)$ güncellemesi yapılır. Bu durumda, optimum olan mobil veya statik düğüm tarafından önceden kapsanan herhangi bir hedef noktasının tekrardan kapsanması engellenebilir. Dolayısıyla alandaki hedef noktaların gereksiz olarak birden fazla mobil düğüm tarafından kapsanmasının önüne geçilir ve kapsanmayan hedef noktaların optimum mobil düğümler ile kapsanması sağlanarak ağıın kapsanma oranı optimize edilir. PMADA-EM'in Şekil 6'daki akış

diyagramına göre; mobil düğümlerin başlangıç ve sonraki dağılımlarında maksimum $f(x)$ değerine ulaşan düğümler optimum mobil düğüm olarak belirlenir ve dinamik dağıtımlarda konumunun bir daha güncellenmemesi için statik düğüm olarak tanımlanır. PMADA-EM ile dağıtılan mobil düğümlerin tümü optimum oluncaya kadar veya simülasyonda tanımlı maksimum iterasyon sayısı (Max_{iter}) çalıştırılıncaya kadar mobil düğümlerin maksimum $f(x)$ 'e ulaşmaları sağlanmıştır (Şekil 6). Nihayetinde bu mobil düğümlerin optimum konuma hızlı bir yakınsama ile yerleşmesi sağlanarak ağıın kapsanma oranı optimize edilmiştir.

Bu çalışmada, her bir simülasyonda bütün yeni değerlerin önceki elde edilen değerlerden bağımsız olarak tanımlandığı ve gerçek bir durumun stokastik modelini oluşturup, bu model üzerinden örnekleme deneyleri hazırlama tekniği olarak belirlendiği Monte Carlo metodu ile simülasyonlar (MC_{sim}) yapılarak düğümlerin her bir simülasyondaki başlangıç dağılımlarının birbirinden bağımsız olması sağlanmıştır. Monte Carlo metodu ile sistemde stokastik özellik gösteren değişkenlerin olasılık dağılımları belirlenir ve daha sonra bu dağılımdan rassal sayılar aracılığı ile örnekler alınarak istenilen veriler üretilir. Böylece tanımlanan sayıda maksimum simülasyon (Max_{sim}) gerçekleştirilerek her simülasyonda hesaplanan kapsanma oranlarına göre ağıın optimum ve ortalama kapsanma oranları tespit edilir.

Algoritma 2**Gösterimler:**

$L(x), L(y)$ = ilgili alanın alt sınır x ve y koordinatı

$U(x), U(y)$ = ilgili alanın üst sınır x ve y koordinatı

m, s = mobil düğüm, statik düğüm sayısı

S^m = tüm mobil düğüm kümesi

S^s = statik düğüm kümesi

S_{opt}^m = optimum olan mobil düğüm kümesi

$G_{x,y}$ = x,y Grid noktasını kapsayan düğümler matrisi

Girdi:

$\forall f_x^i \leftarrow 0, i \in S^{m+s}$

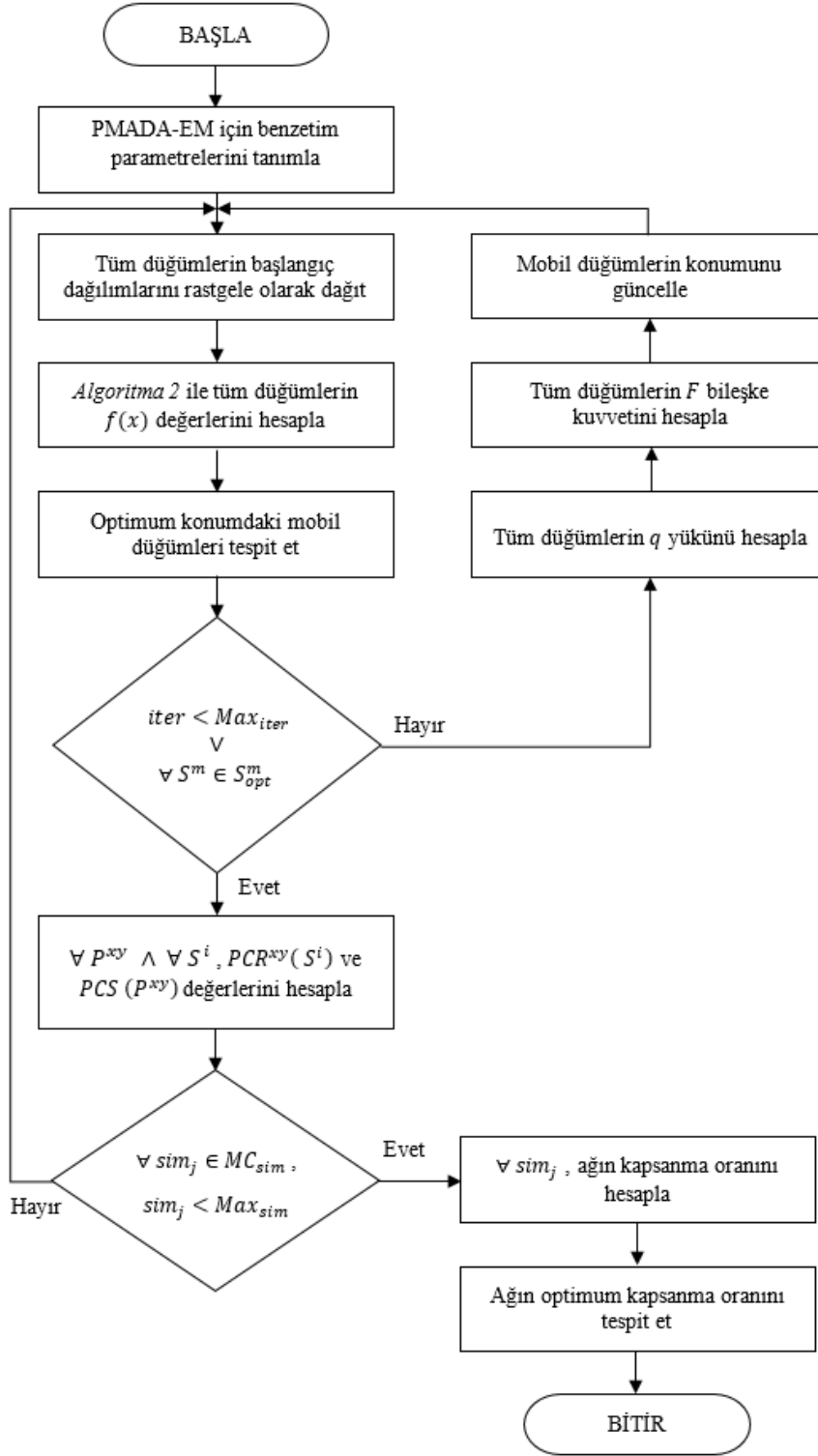
Adımlar:

```

1:  for ykord = L(y) to U(y)
2:  for xkord = L(x) to U(x)
3:     $P^{x,y} \leftarrow [xkord, ykord]$ 
4:    for i = 1 to m + s
5:      if  $d(S^i, P^{x,y}) \leq r$  then
6:         $G_{x,y} \leftarrow i$ 
7:      end if
8:    end for
9:    if  $length(G_{x,y}) == 1$  then
10:      $(\forall j \in S^m + S^s) j \leftarrow G_{x,y}, f_x^j \leftarrow f_x^j + 1$ 
11:   else if  $length(G_{x,y}) > 1$  then
12:     if  $(not(member(S_{opt}^m, G_{x,y})) AND not(member(S^s, G_{x,y})))$  then
13:        $(\forall j \in S^m - S_{opt}^m) j \leftarrow G_{x,y}, f_x^j \leftarrow f_x^j + 1$ 
14:     end if
15:   end if
16: end for
17: end for

```

Şekil 5. PMADA-EM'nin $f(x)$ 'ini hesaplayan taslak kod
(Draft code that calculates $f(x)$ of PMADA-EM)



Şekil 6. PMADA-EM'in akış diyagramı
(Flowchart of the PMADA-EM)

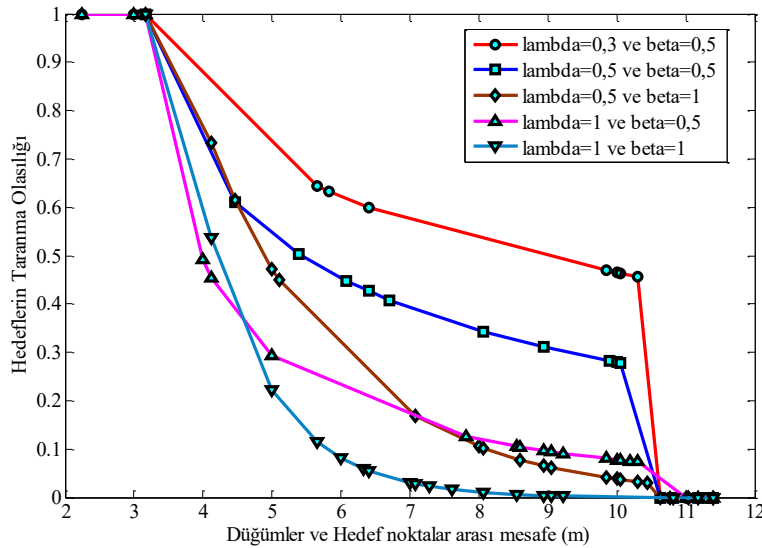
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, geliştirilen PMADA-EM'nin simülasyonları MATLAB® ortamında yapılarak elde edilen sonuçlar literatürdeki OSDAM-EM [11] ile

karşılaştırılmıştır. Tablo 1 de gösterilen ortak parametreler kullanılarak her iki algoritmanın simülasyonları 10000 m²'den oluşan ve düğümlerin dinamik dağıtımında herhangi bir fiziksel engelin olmadığı bir alanda yapıldığı varsayılmıştır. Alanda dağıtılan mobil ve statik düğüm sayılarının toplamı 20 – 100 aralığında tanımlanmıştır. Ağırlık kapsama oranı hesaplanırken esas alınan eşik değerler 0,6 – 1 aralığında

tanımlanarak hedeflerin taranma olasılıkları karşılaştırılmıştır. Ayrıca her bir simülasyondaki düğümlerin başlangıç dağılımları birbirinden bağımsız olmak üzere Monte Carlo metoduna göre toplam 5 simülasyon gerçekleştirilerek algoritmalar karşılaştırılmıştır.

Hedeflerin taranma olasılığının hesaplanmasında λ ve β parametreleri hedeflerin optimum olarak taranmasında belirleyici bir faktör olduğu simülasyonlardan tespit edilmiştir. Şekil 7’de gösterildiği üzere düğümler hedef noktalarını $r - r^e$ (3,5 m) mesafesine kadar %100 olasılık ile taramaktadır. Fakat $r + r^e$ (10,5 m) mesafesinden sonra ise %0 olasılık ile tarar. Dolayısıyla $r - r^e$ ’den $r + r^e$ ’ye kadar hedeflerin taranma olasılığı düğüm ile hedef nokta arasındaki mesafe ile ters orantılı olarak sürekli bir düşüş gözlemlenir. Şekil 7’ye göre $\lambda = 0,3$ ve $\beta = 0,5$ olarak tanımlandığında hedeflerin optimum taranma olasılığı ile kapsanabileceği PMADA-EM ile yapılan simülasyonlar tarafından tespit edilmiştir. Dolayısıyla simülasyonlardaki λ ve β parametreleri için bu optimum değerler kullanılarak algoritmaların karşılaştırmaları yapılacaktır.



Şekil 7. Hedeflerin taranma olasılığının λ (lamda) ve β (beta) parametrelerine göre değişimi
(Change of detection probabilities of the destinations according to λ (lambda) and β (beta) parameters)

Literatürdeki OSDA-EM ve geliştirilen PMADA-EM ile yapılacak düğümlerin dinamik dağıtımlarında Tablo 1’de verilen ortak parametreler tanımlanarak Tablo 2 ve Tablo 3’de tanımlanan farklı sayıdaki mobil ve statik düğümler kullanılmıştır. Her bir simülasyonda mobil düğümlerin dinamik dağıtımları maksimum 1000 iterasyona kadar yapılmıştır. Her iki algoritmada dağıtılan mobil düğümlerin tümü optimum konuma yerleştiği andan itibaren çalışan simülasyon sonlandırılarak bir sonraki bağımsız simülasyon çalıştırılmıştır. Böylece dağıtılan düğüm sayılarına göre algoritmaların simülasyonlardaki ortalama iterasyon sayısı hesaplanarak PMADA-EM ve OSDA-EM’in performansı karşılaştırılmıştır.

Toplam düğüm sayısı 20 – 100 aralığında olmak üzere; Tablo 2’de belirtilen toplam düğümlerin %20’si mobil

Tablo 1. Ortak simülasyon parametreleri
(Common simulation parameters)

Parametreler	Tanımlandığı değer veya aralık
Ağın alan boyutu	10000 m ²
Toplam hedef sayısı	10201
Hedefler arası mesafe	1 m
Mobil düğüm sayısı aralığı	4 – 20
Statik düğüm sayısı aralığı	16 – 80
Düğümün tarama yarıçapı	7 m
Düğümün hatalı tarama yarıçapı	3,5 m
Alfa - Beta	0,3 – 0,5
Ağın kapsama eşik değeri	0,6 – 1,0
Maksimum simülasyon sayısı	5
Maksimum iterasyon sayısı	1000

düğüm ve geriye kalan düğümler ise statik düğüm olarak tanımlanmıştır. Yapılan simülasyonlarda PMADA-EM ile ulaşılan ağın ortalama kapsama oranlarının, kapsama oranlarının standart sapmasının ve çalıştırılan ortalama iterasyon sayısının OSDA-EM’ye göre optimum olduğu hesaplanmıştır. PMADA-EM ile hesaplanan standart sapmanın daha düşük olması ağın kapsama oranlarının daha istikrarlı olduğunu gösterir. Ayrıca PMADA-EM ile ulaşılan ortalama iterasyon sayılarının daha düşük olması, mobil düğümlerin geliştirilen algoritma ile daha hızlı bir şekilde yakınsadığını ve optimum konuma yerleştiğini gösterir.

PMADA-EM ile yapılan dinamik dağıtımın OSDA-EM’ye göre optimum olduğunu ilaveten göstermek amacıyla; Tablo 3’de belirtilen toplam düğümlerin %80’i

mobil düğüm olarak tanımlanarak dinamik dağıtımları yapılmıştır. Tablo 3'deki simülasyon sonuçlarına göre; PMADA-EM ile her bir simülasyonda dağıtılan mobil düğüm sayısı Tablo 2'ye göre daha fazla olduğu için mobil düğümlerin tümünün optimum konuma yerleşmesi için çalıştırılması gereken iterasyon sayısı da fazla

olacaktır. Ayrıca Tablo 3'de OSDA-EM ile 80 mobil düğümün dinamik dağıtım yapıldığında her simülasyonda 1000 iterasyon sonunda mobil düğümlerin tümü optimum konuma yerleşmediği için yapılan tüm simülasyonlar sonlandırılarak ortalama iterasyon sayısı 1000 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. %20 mobil ve %80 statik düğümden oluşan ağda $cr^{th} = 0,6$ için PMADA-EM ve OSDA-EM tarafından yapılan dinamik dağıtımların simülasyon sonuçları
(Simulation results of dynamic deployments made by PMADA-EM and OSDA-EM for $cr^{th} = 0,6$ in a network consisting of %20 mobile and %80 static nodes)

Düğüm Sayıları		PMADA-EM			OSDA-EM		
		Ortalama Kapsama Oranı	Standart Sapma	Ortalama iterasyon sayısı	Ortalama Kapsama Oranı	Standart Sapma	Ortalama iterasyon sayısı
Mobil	Statik						
4	16	26,2582	1,1044	16,20	26,5582	1,5757	408,60
8	32	54,8436	1,4431	78,20	52,6654	2,0654	410,40
12	48	80,5352	1,3771	158,80	70,9813	2,7918	415,00
16	64	92,5831	0,8915	264,40	89,4618	2,1210	810,00
20	80	97,4336	0,9819	320,00	95,6083	1,2357	868,00

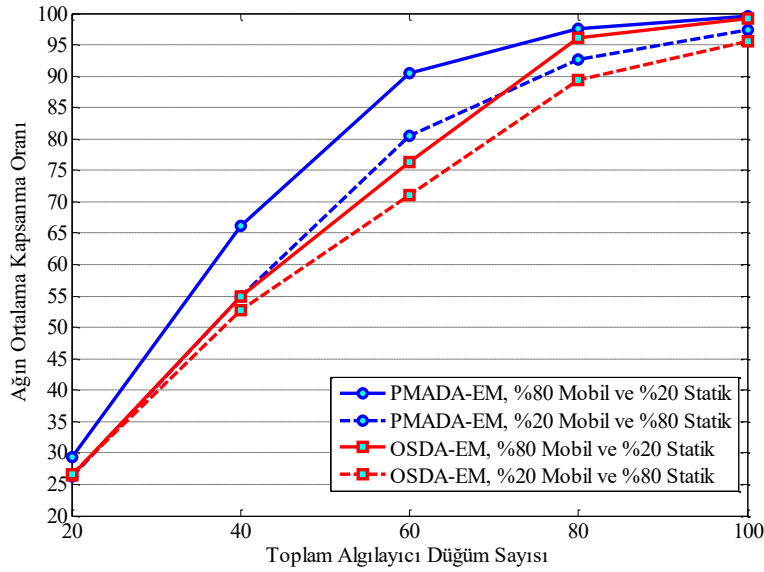
Tablo 3. %80 mobil ve %20 statik düğümden oluşan ağda $cr^{th} = 0,6$ için PMADA-EM ve OSDA-EM tarafından yapılan dinamik dağıtımlarda simülasyon sonuçları
(Simulation results of dynamic deployments made by PMADA-EM and OSDA-EM for $cr^{th} = 0,6$ in a network consisting of %80 mobile and %20 static nodes)

Düğüm Sayıları		PMADA-EM			OSDA-EM		
		Ortalama Kapsama Oranı	Standart Sapma	Ortalama iterasyon sayısı	Ortalama Kapsama Oranı	Standart Sapma	Ortalama iterasyon sayısı
Mobil	Statik						
16	4	29,2638	0,6593	51,00	26,4543	1,3170	423,80
32	8	66,1523	0,7165	198,00	54,9652	2,3551	608,40
48	12	90,5225	0,7187	356,60	76,3278	2,8164	622,40
64	16	97,5493	0,3680	475,20	96,1023	1,5997	892,60
80	20	99,4785	0,2100	552,00	99,1569	0,2275	1000

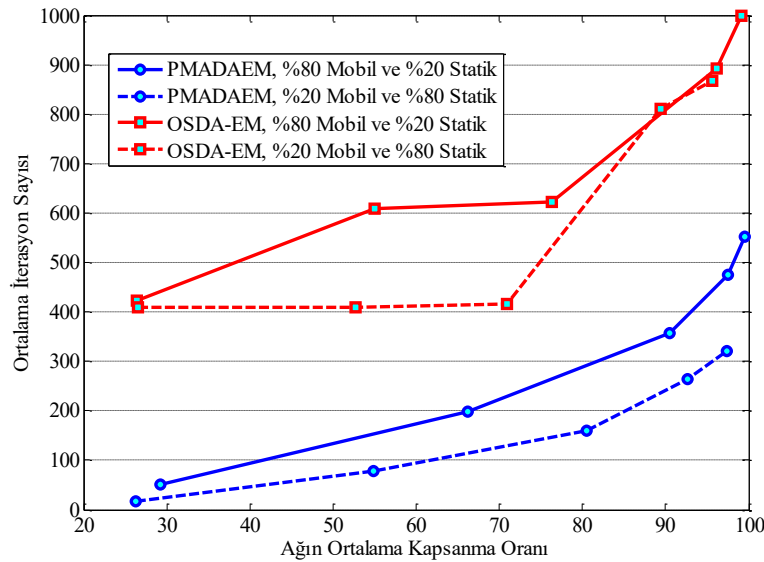
İlgili alanda toplam 20 – 100 aralığında dağıtılan düğümlerin %80'i mobil düğüm olarak tanımlandığında PMADA-EM ile hesaplanan kapsama oranının farklı oranlarda dinamik dağıtım yapan PMADA-EM ve OSDA-EM'ye göre optimum olduğu Şekil 8 ile tespit edilmiştir. Ayrıca PMADA-EM ve OSDA-EM'in aynı oranlarda mobil düğümlerin dinamik dağıtımları yapılarak kapsanan alanlar karşılaştırıldığında (sürekli ve kesik olan mavi ve kırmızı doğrularının kendi aralarında karşılaştırılması) PMADA-EM'in OSDA-EM'den daha optimum olduğu tespit edilmiştir.

Ortalama iterasyon sayısına göre ulaşılan ortalama kapsama oranları Şekil 9'da karşılaştırılmıştır. Mobil düğümlerin dağıtım oranları fark etmeksizin PMADA-EM ile yapılan dinamik dağıtımda düğümlerin OSDA-EM'ye göre daima daha hızlı yakınsadığı simülasyonlarda hesaplanarak Şekil 9'da gösterilmiştir.

Bu makalede, algoritmalar için tanımlanan eşik değerlerine göre %20 – %80 oranında dağıtılan düğümler ile yapılan simülasyonlarda hesaplanan kapsama oranları Tablo 4'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre; 0,5 – 1 arasındaki eşik değerleri esas alınarak %20 ile %80'i mobil olarak dağıtılan 100 düğümün alanın olasılıksal kapsama oranına olan etkisi incelendiğinde aralıktaki tüm eşik değerleri için geliştirilen PMADA-EM ile daha optimum kapsama oranlarına ulaşılarak OSDA-EM'ye göre daha etkin dinamik dağıtım yaptığı gözlemlenmiştir. Ayrıca ağın 0,8 ile 0,9 eşik değerlerine göre dağıtılan mobil ve statik düğümler ile alanın kapsama oranları karşılaştırıldığında PMADA-EM tarafından hesaplanan ortalama kapsama oranında %5 – %10 aralığında bir artış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. PMADA-EM ve OSDA-EM ile %20 ve %80 oranında dağıtılan mobil-statik düğüm sayılarına göre $cr^{th} = 0,6$ için ağda ulaşılan ortalama kapsama oranlarının karşılaştırılması
(Comparing of the average coverage ratios achieved in the network for $cr^{th} = 0,6$ according to mobile-static node numbers distributed at %20 and %80 with PMADA-EM and OSDA-EM)



Şekil 9. PMADA-EM ve OSDA-EM tarafından %20 ile %80 oranında dağıtılan mobil-statik düğüm sayılarına ve ortalama iterasyon sayısına göre $cr^{th} = 0,6$ için ağda ulaşılan ortalama kapsama oranlarının karşılaştırılması

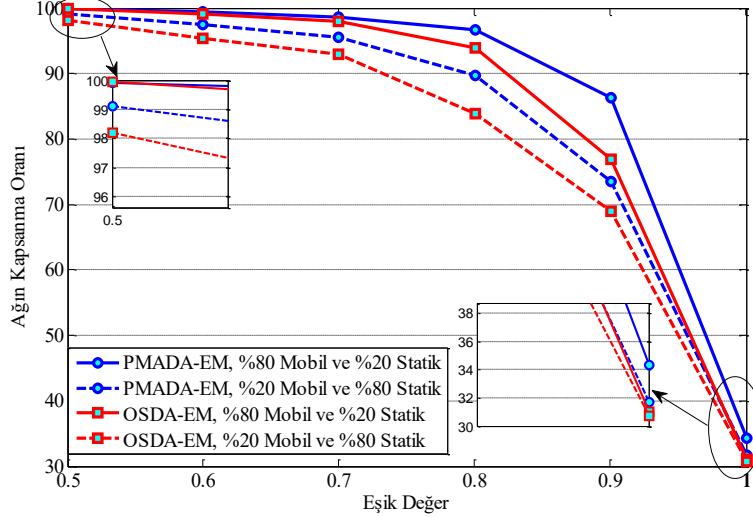
(Comparing of the average coverage rates achieved in the network for $cr^{th} = 0,6$ according to average number of iterations and mobile-static node numbers distributed at %20 with %80 by PMADA-EM and OSDA-EM)

Tablo 4. 0,5 – 1 arasındaki eşik değerlerine ve %20 ile %80 oranında dağıtılan mobil ve statik düğüm sayılarına göre PMADA-EM ve OSDA-EM tarafından hesaplanan ortalama kapsama oranları
(Average coverage ratios calculated by PMADA-EM and OSDA-EM according to mobile and static node numbers distributed at %20 with %80 and threshold values between 0,5 – 1)

cr^{th} (Eşik değeri)	PMADA-EM		OSDA-EM	
	20 mobil 80 statik	80 mobil 20 statik	20 mobil 80 statik	80 mobil 20 statik
	Ortalama Kapsama Oranları (%)			
0,5 (%50)	99,1099	99,9216	98,1825	99,9392
0,6 (%60)	97,4336	99,4785	95,4377	99,1589
0,7 (%70)	95,5847	98,6707	92,9085	97,9982
0,8 (%80)	89,7755	96,6964	83,9486	93,9006
0,9 (%90)	73,5065	86,3229	68,9030	76,9552
1 (%100)	31,7341	34,3398	30,7205	30,9989

İlgili alandaki tüm alanın 0,5 – 1 arasındaki eşik değerlerine göre hesaplanan ortalama kapsanma oranlarının değişim grafiği Şekil 10’da gösterilmiştir. Bu grafikte, algoritmalar tarafından %20 ile %80 oranında dinamik dağıtımı yapılan mobil düğüm parametrelerinin her birisi (düz ve kesik olan mavi - kırmızı doğrular)

kendi içinde karşılaştırıldığında PMADA-EM ile daha optimum sonuçlara ulaşılabildiği görülmektedir. 0,5’den daha düşük eşik değerlerindeki alanın olasılıksal kapsanma oranları her iki algoritma için %99’un üzerinde hesaplanacağı için ayrıca değerlendirmeye gerek görülmemiştir.



Şekil 10. 0,5 – 1 arasındaki eşik değerlerine ve %20 – %80 oranında dağıtılan mobil ve statik düğüm sayılarına göre PMADA-EM ve OSDA-EM’nin ortalama kapsama oranlarının değişim grafiği
(Change graph of the average coverage ratios of PMADA-EM and OSDA-EM according to mobile and static node numbers distributed at %20 - %80 and threshold values between 0,5 – 1,0)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, 0,5 – 1 aralığındaki eşik değerlere göre ilgili tüm alanın olasılıksal kapsanma oranını optimize etmek amacıyla PMADA-EM geliştirilmiştir. PMADA-EM tarafından başlangıçta 20–100 aralığında rastgele dağıtılan düğüm sayılarına göre sırasıyla %20 ve %80 oranında mobil düğümlerin dinamik dağıtımı yapılarak literatürdeki OSDA-EM ile karşılaştırılması yapılmıştır. PMADA-EM tarafından 0,6 eşik değeri esas alınarak 48 statik düğüme karşı 12 mobil düğümün dinamik dağıtımı yapıldığında %10’luk, 12 statik düğüme karşı 48 mobil düğümün dinamik dağıtımı yapıldığında ise %14’lük ortalama kapsanma oranında optimum artış olduğu tespit edilmiştir. PMADA-EM tarafından hem %20 hem de %80 oranında mobil düğüm dağıtıldığında bu düğümlerin optimum konuma yerleşirken çalıştırılan ortalama iterasyon sayısı OSDA-EM’ye göre daima minimum olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 0,5 – 1 aralığındaki eşik değerler esas alınarak PMADA-EM tarafından düğümlerin %20 ve %80 oranlarında mobil olarak dinamik dağıtımları yapıldığında OSDA-EM’ye göre daima optimum kapsanma oranlarına ulaşılmıştır. Dolayısıyla Monte Carlo metodu kullanılarak yapılan simülasyonlarda geliştirilen PMADA-EM ile daha az iterasyon yapılarak minimum standart sapma üzerinden optimum kapsama oranlarına ulaşıldığı ve bu süreçte OSDA-EM’ye göre mobil düğümlerin ilgili alana daha hızlı bir şekilde yerleştiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ilgili alanın hem istikrarlı bir şekilde olasılıksal kapsanma

oranlarının hesaplanmasında hem de düğümlerin optimum konuma yerleşirken yakınsama hızlarının hesaplanmasında PMADA-EM ile daha optimum sonuçlara ulaşılmıştır. Dolayısıyla PMADA-EM alanın tümünün olasılıksal olarak kapsanmasında yeni bir meta-sezgisel yaklaşım olarak önerilmektedir. Sonraki çalışmada düğümlerin enerji tüketimlerini optimize ederek bu yöntemin yakınsamasının optimizasyonu üzerinde çalışılacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] T. He, S. Krishnamurthy, J. A. Stankovic, T. Abdelzاهر, L. Luo, R. Stoleru, T. Yan, L. Gu, J. Hui, B. Krogh, “Energy-Efficient Surveillance System Using Wireless Sensor Networks”, **2nd International Conference on Mobile systems, applications and services**, Boston, MA, USA, 270-283, 06-09 July, 2004.
- [2] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, J. Anderson, “Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring”, **1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications**, Atlanta, Georgia, USA, 88-97, 28 September, 2002.
- [3] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey”, *Computer Networks*, 38 (4), 393-422, 2002.
- [4] M. Hefeeda, H. Ahmadi, “A Probabilistic Coverage Protocol for Wireless Sensor Networks”, **IEEE International Conference on Network Protocols**, Beijing, China, 41-50, 16-19 October, 2007.
- [5] B. Tavli, **Protocol Architectures for Energy Efficient Real-Time Data Communications in Mobile Ad Hoc Networks**, Doktora Tezi, University of Rochester, The College School of Engineering and Applied Sciences, 2005.

- [6] J. Zhang, T. Yan, S. H. Son, "Deployment Strategies for Differentiated Detection in Wireless Sensor Networks", **3th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad-Hoc Communications and Networks**, Reston, VA, USA, 316-325, 28 September, 2006.
- [7] B. Wang, "Coverage problems in sensor networks: A Survey", *ACM Computing Surveys*, , 43 (4), 53 pages, 2011.
- [8] K. Chakrabarty, S. S. Iyengar, H. Qi, E. Cho, "Grid Coverage for Surveillance and Target Location in Distributed Sensor Networks", *IEEE Transactions on Computers*, 51(12), 1448-1453, 2002.
- [9] R. Özdağ, A. Karcı, "Sensor Node Deployment Based on Electromagnetism-Like Algorithm in Mobile Wireless Sensor Networks", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(2), 15 pages, 2015.
- [10] N. Ahmed, S. S. Kanhere, S. Jha, "Probabilistic Coverage in Wireless Sensor Networks", **IEEE 30th Anniversary Conference on Local Computer Networks**, Sydney, NSW, Australia, 672-681, 17 November, 2005.
- [11] R. Özdağ, A. Karcı, "Probabilistic Dynamic Distribution of Wireless Sensor Networks with Improved Distribution Method based on Electromagnetism-Like Algorithm", *Measurement*, 79, 66-76, 2016.
- [12] V. Isler, S. Kannan, K. Daniilidis, "Sampling Based Sensor Network Deployment", **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems**, Sendai, Japan, 1780-1785, 28 September - 2 October, 2004.
- [13] K. Kar and S. Banerjee, "Node placement for connected coverage in sensor networks", **Workshop on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks**, Sophia Antipolis, France, 2 pages, March, 2003.
- [14] S. Shakkottai, S. Srikant, N. Shroff, "Unreliable Sensor Grids: Coverage, Connectivity and Diameter", **Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies**, San Francisco, CA, USA, 1073-1083, 30 March-3 April, 2003.
- [15] Y. Zou, K. Chakrabarty, "Sensor deployment and target localization based on virtual forces", **Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies**, San Francisco, CA, USA, 1293-1303, 30 March-3 April, 2003.
- [16] M. Garetto, M. Gribaudo, C. F. Chiasserini, E. Leonardi, "A distributed sensor relocation scheme for environmental control", **IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems**, Pisa, Italy, 1-10, 8-11 October, 2007.
- [17] S. Li, C. Xu, W. Pan, Y. Pan, "Sensor deployment optimization for detecting manoeuvring targets", **7th International Conference on Information Fusion**, Philadelphia, PA, USA, 1629-1635, 25-28 July, 2005.
- [18] N. Kukuluru, B. R. Thella, R. L. Davuluri, "Sensor deployment using particle swarm optimization", *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(10), 5395-5401, 2010.
- [19] X. Yu, N. Liu, X. Qian, T. Zhang, "A Deployment Method Based on Spring Force in Wireless Robot Sensor Networks", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(5), 79-90, 2014.
- [20] X. Wang, S. Wang, J. Ma, "Dynamic Deployment Optimization in Wireless Sensor Networks", *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, 344, 182-187, 2006.
- [21] Z. Li, L. Lei, "Sensor Node Deployment in Wireless Sensor Networks Based on Improved Particle Swarm Optimization", **IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices**, Chengdu, China, 215-217, 25-27 September, 2009.
- [22] C. Ozturk, D. Karaboga, B. Gorkemli, "Artificial bee colony algorithm for dynamic deployment of wireless sensor networks", *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 20(2), 255-262, 2012.
- [23] C. Ozturk, D. Karaboga, B. Gorkemli, "Probabilistic Dynamic Deployment of Wireless Sensor Networks by Artificial Bee Colony Algorithm", *sensors*, 11(6), 6056-6065, 2011.
- [24] S. I. Birbil, S. C. Fang, "An Electromagnetism-like Mechanism for Global Optimization", *Journal of Global Optimization*, 25(3), 263-282, 2003.
- [25] R. Özdağ, "Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Alan Kapsama için Dinamik Düğüm Dağıtımı ile Yeni bir Meta-sezgisel Yaklaşım", **4th International Symposium On Innovative Technologies in Engineering and Science**, Alanya, Antalya, Türkiye, 1513-1522, 3-5 Kasım, 2016.
- [26] M. Canayaz, A. Karcı, "Cricket behaviour-based evolutionary computation technique in solving engineering optimization problems", *Applied Intelligence*, 44(2), 362-376, 2016.
- [27] M. Demir, A. Karcı, "Data Clustering on Breast Cancer Data Using Firefly Algorithm with Golden Ratio Method", *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 15(2), 75-84, 2015.
- [28] J. Kratica, "An Electromagnetism-Like Approach for Solving the Low Autocorrelation Binary Sequence Problem", *Int J Comput Commun*, 7(4), 688-695, 2012.
- [29] P. Wu, W.H. Yang, N.C. Wei, "An Electromagnetism Algorithm of Neural Network Analysis -An Application to Textile Retail Operation", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 21(1), 59-67, 2004.

İki Aşamalı Kümeleme Analizi ile Bireysel Emeklilik Sektöründe Müşteri Profiline Değerlendirilmesi

Zeynep CEYLAN^{1,2*}, Samet GÜRSEV², Serol BULKAN²

¹Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye

²Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
zeynep.dokumaci@omu.edu.tr, sametgursev@gmail.com, sbulkan@marmara.edu.tr

(Geliş/Received:29.06.2017; Kabul/Accepted:08.10.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.323951

Özet— Türkiye'de Bireysel Emeklilik Sistemi (BES) 27 Ekim 2003 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu tarihten itibaren katılımcı sayısı ve fon büyüklüğü açısından BES hızlı bir gelişme göstermiştir. Bu nedenle bireysel emeklilik şirketlerinin katılımcı sayılarını arttırmaları için ürün ve hizmetlerde farklılaşmaları ve doğru müşteriye doğru ürün ve hizmeti sunmaları gerekmektedir. Bunların yanı sıra, şirketler müşterilerini elde tutmaya yönelik, veri madenciliği teknikleriyle mevcut müşterilerini iyi tanımaları ve müşteri kaybını önlemek için doğru stratejileri uygulamaları gerekmektedir. Çünkü farklı müşteri ihtiyaçlarını doğru şekilde karşılamak, rekabet ortamında şirketlerin pazar payı ve karlılıklarını arttırmaları açısından önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, veri madenciliği büyük veri yığınlarına sahip olan işletme ve kurumların, rakiplerine üstünlük sağlayabilmesi için kullanılan önemli bir tekniktir. Bu çalışmada, Türkiye'de faaliyet gösteren bir emeklilik şirketinin müşterileri hakkındaki bilgilere veri madenciliği kümeleme yöntemlerinden biri olan iki aşamalı kümeleme yöntemi uygulanmıştır. İki aşamalı kümeleme yöntemi, diğer kümeleme yöntemleri ile kıyaslandığında hem sürekli hem de kategorik verileri işleyebilme yeteneğine sahiptir. Ayrıca büyük örneklem büyüklüklerinde esnek olması nedeniyle tercih edilmektedir. Veriler üç farklı kümeye ayrılmış ve her küme ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen 3 kümede de özellikle tasarruflarını aylık 0-250 TL katkı payı ile düşük birikimlerle yapan katılımcıların çoğunlukta olduğu görülmüştür. Ayrıca, her üç kümede de BES'e katılımın en çok olduğu yaş grubununun 35-44 yaş arası olması, bu yaş aralığındaki katılımcıların geleceği açısından emeklilik sistemine daha olumlu yaklaşımlarına işaret ettiği sonucuna varılmıştır. Bunların yanısıra, katılımcıların yaşadıkları şehirlerin sosyoekonomik ve demografik özelliklerinin farklı olması, katılımcıların tasarruf yapma kararlarını doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, elde edilen bulgular şirketlerin yeni satış stratejileri oluştururken sadece sözleşme adedi odaklı olarak değil müşterilerinin cinsiyet, medeni durum, yaş, meslek, öğrenim durumu, yaşadığı şehir bilgilerinin yanısıra ödeme ve tasarruf bilgilerini göz önüne alarak tasarlanması gerektiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler— İki aşamalı kümeleme, müşteri analizi, veri madenciliği, bireysel emeklilik sistemi

Evaluation of Customer Profile in Individual Pension Sector by Two-Step Cluster Analysis

Abstract— The Individual Pension System (IPS) in Turkey entered into force on October 27, 2003. From this date, IPS shows a rapid development in terms of number of participants and fund size. Thus, individual pension companies need to differentiate in products and services and must offer the right products and services to the right customers in order to increase the number of participants. In addition to these, data mining techniques aimed at retaining corporate customers should be applied by existing customers with good definitions and correct strategies to prevent customer loss. Correctly meeting the needs of different customers plays an important role in increasing the market and profitability of companies in a competitive environment. For this reason, data mining is an important technique used by enterprises and institutions that have large data volumes to provide superiority to their competitors. In this study, two-step cluster method, one of the data mining clustering methods, was applied to the information of the customers of a pension company operating in Turkey. The two-step cluster method has the ability to process both continuous and categorical data when compared to other clustering methods. It is also preferred because of its large sample size and flexibility. The data were divided into three different clusters and each cluster was examined separately. In the obtained three clusters, it was seen that customers that especially made their savings with low accumulation as monthly 0-250 TL contribution formed the majority. In addition, for all three clusters, group of participants' with an age range between 35-44 was the most, thus it is concluded that this indicate that participants in this age range are more likely to approach the pension system

considering their future. Additionally, it has been observed that differences in socioeconomic and demographic characteristics of the cities where participants live in directly effects the participants' decisions to make savings. As a result, the findings show that while companies create new sales strategies, they should be designed not only based on contract number but also considering customers' gender, marital status, age, occupation, learning situation, living city information but also payment and savings.

Keywords— Two-step cluster, customer analysis, data mining, individual pension system

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Küresel ekonomi, günümüz dünyasında hızla değişmekte ve borç tasarruf oranları bu değişime tepki göstermektedir. Tüm bunlara ek olarak genç nüfusu fazla olan ülkelerde emeklilik sistemleri ilerleyen dönemlerde büyük bir potansiyel sorun olarak görülmektedir. Bu sebeple, yaşlanan nüfus ve borç krizlerini engelleyici bazı çalışmaların önceden planlanması şart olmaktadır. Hükümetler tasarruf fonlarına ve emeklilik sistemlerine büyük önem vermek zorundadır. Hızla azalan genç nüfus sayısı toplumdaki üretim tüketim dengesini değiştirmektedir. Yaşlanan nüfus beraberinde sağlık masrafları ve emeklilik ödemeleri getirmektedir ve bu durum sağlık sigortaları, emeklilik sistemi ve kredi konularında yeni ve önleyici kararlar alınmasını gündeme getirmektedir. Ayrıca, günümüz dünyasında konut, araç, eğitim konularında ihtiyaç duyulan kredi miktarlarının hızla artması ve banka sistemlerindeki kredi kartı işleyişlerinin getirdiği borçlanma süreci hükümetleri hızla büyütmekte olan bir cari açık krizine sürüklemektedir. Bu nedenle, ekonomilerin ayakta kalabilmesi, cari açıkların kapatılması toplumların refah düzeyinin korunması için büyük önem arz etmektedir.

Türkiye, sosyal güvenlik reformu çalışmaları içerisinde yaşanan borç sorunu ve ileride karşılabilecek emeklilik sistemi sorunlarına bir altyapı oluşturması için Ekim 2003 tarihinde Bireysel Emeklilik Sistemi'ni (BES) resmen başlatmış ve başlangıcından bu yana önemli bir yol katetmiştir. Bireysel emeklilik, katılımcıya yüzde 25 devlet desteği verilerek uzun vadede sistemde kalınması ve bu sistemden emekli olunmasına yardımcı olan, kanun ve yönetmelikler ile kontrol edilen bir yapıdır. Katılımcıların sistemden emekli olabilmesi için 56 yaşını doldurması ve tercih ettikleri katkı payı tutarını, 10 yıl boyunca düzenli olarak seçtiği bir emeklilik şirketine yatırması gerekmektedir. Böylelikle, BES' te 10 yıl geçiren ve 56 yaşını tamamlamış katılımcılar, birikimlerini topluca alabilme ya da belli bir plan çerçevesinde aylık veya yıllık olarak düzenli maaş alabilme hakkını elde etmektedirler.

Türkiye'de BES gönüllü katılıma ve fona dayalı bir yapıya sahip iken yeni alınan kararlar doğrultusunda 2017 yılı itibariyle çalışanlara zorunlu bir uygulama ile kapsam ve içeriği geliştirilmektedir. Ödenecek katkı payları, çalışanların prime esas kazançlarının veya emeklilik keseneğine esas aylığının %3'ü oranında olup, daha

yüksek bir oranda katkı payı kesintisi çalışanın isteğine bağlı olarak işverenden talep edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, zorunlu olarak BES' e dahil edilen çalışanın ilerleyen dönem içinde sistemden çıkması da her zaman mümkün olabilmektedir. Geliştirilen bu uygulama sayesinde topluma ikinci emeklilik geliri ile refah düzeyi sağlanması amaçlanmaktadır. 31.12.2004 tarihinde 314.257 kişinin katıldığı bireysel emeklilik sisteminde 21.04.2017 tarihi itibariyle 6.750.559 katılımcı sayısına ulaşılmış ve bunlardan toplanan fon tutarı da 58 milyar 275.01 milyon TL' ye yaklaşmıştır [1]. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü verilerine göre 2020 yılında 115 milyar liralık bir fon büyüklüğünün geçileceği öngörülmektedir. Bu sayıya zorunlu bireysel emeklilik sistemi etkileri de eklenirse ciddi anlamda bir artış olacağı bir gerçektir [2]. Müşteri sayısındaki bu büyük artış emeklilik şirketleri için büyük bir rekabet avantajı oluşturmaktadır. Şirketlerin başarıya ulaşmasında; sisteme katılan bireylerin özellikle katkı paylarını düzenli ödemeleri, sistemin uzun vadeli bir yapıya sahip olduğunu bilerek gereken sabrı ve inancı göstermeleri, topludurumsal gelişmelere uygun olarak yatırım kararlarını belirlemeleri ve bireysel emeklilik sisteminin kendisi ve işleyişi konusunda bilgilenmeleri gerekmektedir. Bu nedenle, ister otomatik katılıma ister gönüllü katılıma bağlı olsun sistemdeki mevcut müşterin bilgilendirilmesi ve sürecin doğru aktarılması ve etkin satış tekniklerinin oluşturulması müşterilerin sistemde devamlılığının sağlanması açısından büyük önem teşkil etmektedir. Böylelikle, zorunlu emeklilik sigortasından yeteri kadar gelir elde edemediğini düşünen çalışanların sistemden ayrılmamaları sağlanmış olacaktır. Ayrıca, gönüllü olarak da katılabilecekleri bu sisteme teşvik edilerek sisteme yönlendirdikleri katkı paylarını arttırmaları ve daha fazla tasarruf etmeleri sağlanabilir.

Literatürde BES ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Örneğin, Kaydu (2006) çalışmasında, Antalya ve Isparta illerinde BES'e dahil olan 96 katılımcının profilini cinsiyet, yaş, gelir, öğrenim durumları, sisteme yönlendirdikleri katkı payları açısından değerlendirmiştir [3]. İşbilen (2008) çalışmasında İstanbul'da sisteme dahil olan 211 katılımcının BES hakkındaki tutumlarını belirlemeye çalışmıştır [4]. Ayrıca, katılımcıların cinsiyet, yaş grupları, eğitim durumları, medeni durum, mesleki durum, gelir, bağlı olunan güvenlik kurumu gibi demografik bilgileri ile bireysel emeklilik sözleşme profiline göre oluşabilecek farklılıkları incelemiştir. Şener ve Akın (2010) çalışmalarında, sisteme dahil olan 400 katılımcının demografik bilgilerini kullanarak BES'e giriş kararlarını etkileyen faktörleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma ile, katılımcıların eğitim seviyesi ve gelir düzeyi değişkenlerinin sisteme giriş

kararında önemli bir etken olduğu sonucuna ulaşmışlardır [5]. Özer ve Çınar (2012) çalışmalarında bir vakıf üniversitesinde çalışan 289 öğretim üyesinin demografik özelliklerine, toplam çalışmış oldukları yıl sayısı ve gelir düzeyleri gibi değişkenlere göre emeklilik sistemine olan bakış açılarını değerlendirmişlerdir [6]. Yazıcı (2015) çalışmasında katılımcıların emeklilik yatırım fonları ve yatırım alternatifleri hakkında bilgi ve algısını ölçmeyi hedeflemiştir. Araştırma kapsamında, sistemde düzenli katkı payı ödeyen 1014 katılımcının yaş, cinsiyet, çalışma durumu, eğitim durumu, birikim tutarı, sistemde geçirdiği süre (kıdem) ve ikamet ettiği yere ilişkin bilgilerine başvurulmuştur [7]. Bayrak Salantur (2015) çalışmasında, 8.580 katılımcıya ait demografik ve sosyo-ekonomik değişkenlerin (cinsiyet, ödeme oranı, medeni durum, katkı payı, çocuk sayısı ve yaş) sistemden erken ayrılmalarına olan etkisini incelemiştir [8]. Güneş (2015) çalışmasında bireylerin sisteme yönelik tutum ve davranışlarını belirlemek amacıyla Karabük ilinde yaşayan 700 kişiye ait yaş, cinsiyet, aylık ortalama gelir, öğrenim düzeyi, mesleki statü gibi demografik bilgileri ve BES'e katılımı etkileyen diğer faktörleri detaylı incelemiştir [9]. Çömlekçi ve Gökmen (2017), BES'e katılmada etkili olan faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörlerin katılımcıların demografik özelliklerine göre farklılık gösterip göstermediğini tespit etmek amacıyla TR42 Bölgesi'nde sisteme dahil olan 384 katılımcı üzerinde çalışmalarını yapmışlardır [10].

Günümüzde giderek yaygınlaşan ve gelişen bir sektör haline gelen bireysel emeklilik sisteminde veri tabanlarında saklı tutulan müşteri verilerinin keşfedilerek anlamlı bilgilerin çıkarılması büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, veri madenciliği yöntemi, bireysel emeklilik sistemi gibi büyük müşteri havuzunda yol gösterici olması açısından ihtiyaç haline gelmiştir. Bu sayede, müşteri davranışlarının ve isteklerinin daha net bir şekilde anlaşılması sağlanarak stratejik ve önemli kararların alınması ve rekabette kalınması açısından şirketlere yarar sağlanmış olacaktır.

Bu çalışmada ise, ülkemizde faaliyet gösteren bir bireysel emeklilik şirketinin 171.625 katılımcısına ait veriler kullanılmıştır. Katılımcıların yaş, cinsiyet, medeni durum, meslek, öğrenim durumu, katkı payı ve ödeme aracı, yaşadığı şehir gibi verilerine göre kümelenmesi ve bu kümelerin tanımlanması ele alınmıştır. Uygulamada, veri madenciliğinin özellikle pazarlama araştırmalarında geniş bir uygulama alanı bulan karma kümeleme analizi yöntemi olan iki aşamalı kümeleme analizi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, BES'e dahil olan katılımcıların ödeme ve tasarruf kararlarının çeşitli sosyo-ekonomik ve demografik göstergelerle incelenerek, gruplara ayrılması ve belirlenmiş gruplar arasındaki farklılıkların değerlendirmesini yapmaktır. Literatürde, BES' te kümeleme analizi ile katılımcıların ödeme ve tasarruf bilgilerinin analiz edildiği ve pazarlama stratejisi geliştirildiği çok az çalışma bulunmaktadır. Bu yönüyle çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. VERİ MADENCİLİĞİ (DATA MINING)

Günümüzde veri toplama ve depolama teknolojisindeki hızlı gelişmeler kuruluşların büyük miktarda veri biriktirmesine imkân sağlamıştır. Ancak, bu verilerden faydalı bilgilerin elde edilmesi oldukça zordur. Geleneksel veri analizi araçları ve teknikleri böyle büyük boyuttaki bir veri kümesinin analizinde yetersiz kalmaktadır. Bu noktada veri madenciliği önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Veri madenciliği, geleneksel veri analiz yöntemleri ile büyük hacimli verileri işlemek için geliştirilmiş algoritmaları harmanlayan bir teknolojidir [11-15]. Chen ve arkadaşları (2006) veri madenciliğini "büyük veri depolarındaki ilginç (önemsiz olmayan, gizli önceden bilinmeyen ve potansiyel olarak yararlı) bilgi veya örüntüleri çıkarma işlemi olarak tanımlamışlardır" [16].

2.1. Kümeleme Analizi (Clustering Analysis)

Veri madenciliğinde kullanılan ilk tekniklerden birisi kümeleme analizidir. Küme analizi veya kümeleme, verilerde bulunan özelliklere göre veriler arasındaki benzerlikleri bulma ve benzer veri nesnelerini ayrık ve homojen gruplar oluşturacak şekilde gruplandırma işlemidir. Diğer bir deyişle, benzer nesnelerin aynı kümede ve benzer olmayan nesnelerin ise başka bir kümede gruplanmasıdır. Veri madenciliğinin temel yöntemlerinden biri olan kümeleme analizi pazar araştırması, makine öğrenimi, biyoinformatik, görüntü işleme, kalıp tanıma, veri sıkıştırma, bilgisayar grafikleri gibi pekçok alanda kullanılan istatistiksel bir tekniktir [17].

Veri Madenciliğinde kullanılmakta olan çok sayıda kümeleme algoritması bulunmaktadır. Kümeleme algoritmasının seçimi hem analiz edilecek verinin yapısına hem de amaç ve uygulamaya bağlıdır [18-19]. Literatürde yaygın kullanılan kümeleme algoritmaları, hiyerarşik (aşamalı) ve hiyerarşik olmayan kümeleme tekniği olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır [20-21]. Hiyerarşik kümeleme yönteminde, gruplayıcı (agglomerative) ve bölücü (divisive) olmak üzere iki yöntem vardır. Gruplayıcı hiyerarşik yönteminde her birim başlangıçta bir küme olarak kabul edilir. Daha sonra en yakın iki küme yeni bir kümede birleştirilir. Bu şekilde, her adımda küme sayısı bir azaltılır. Oluşan küme yapıları, "dendogram" veya ağaç grafiği ile gösterilebilir [22]. Hiyerarşik olmayan kümeleme tekniklerinde ise küme sayısı hakkında ön bilgiler vardır veya araştırmacı küme sayısına karar vermektedir.

Çalışmada kullanılan İki Aşamalı Kümeleme (Two step cluster) yöntemi ise hiyerarşik olmayan kümeleme tekniklerinden "k Ortalamalar" ve hiyerarşik tekniklerinden ise "Ward'ın En Küçük Varyans" tekniklerinin birleştirilmesi ile oluşan hibrid kümeleme tekniğidir. Klasik kümeleme algoritmaları ile kıyaslandığında iki aşamalı kümeleme yöntemi daha öznelikli kategoriler sağladığı için farklı disiplinlerden birçok araştırmacı tarafından uygulama alanı bulmuştur [23-24]. Örneğin, Choi ve arkadaşları (2004)

çalışmalarında multihop kablosuz algılayıcı ağları için iki aşamalı kümeleme yöntemini çalışmışlardır. İki aşamalı kümeleme yönteminin sağladığı yeni kümeleme yapılandırması yoluyla önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamışlardır [25]. Şchiopu (2010) çalışmasında bir bankanın mevcut ve olası müşterilerini etkin bir şekilde yönetmek için, iki aşamalı kümeleme analizi ile müşterileri 3 kümeye ayırmıştır [26]. Namvar ve arkadaşları (2010) iki aşamalı kümeleme yöntemini kullanarak banka müşterilerini eğitim seviyesi, yaş, meslek gibi demografik bilgilerine göre kümeler ayırmıştır [27]. Savaş ve Topaloğlu (2011) ise 3 farklı GSM şebekelerinin çekim gücü verilerini cep telefonlarından alarak veri tabanı oluşturan bir program geliştirmişlerdir. Programdan elde edilen verileri iki aşamalı kümeleme yöntemi ile analiz ederek 3 farklı kümeye ayırmış ve her 3 şebeke için sonuçları yorumlamışlardır [28]. Yılmaz (2012) çalışmasında üniversite öğrencilerinin eğlence ya da iletişim amacıyla, internet kullanımına göre üniversite öğrencilerinin profillerini belirlemek ve internetteki ilgisine bağlı olarak profillerinin farklı olup olmadığını anlamak için iki aşamalı kümeleme analizini çalışmıştır. Çalışmanın sonuçları, üniversite öğrencilerinin, eğlence ve iletişim amacıyla internet kullanımı anlamında iki profile bölündüğünü ve İnternet'e olan ilginin bu bölünme üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir [29]. Çetin ve Irmak (2014) çalışmalarında iki aşamalı kümeleme analizini 40 farklı üniversitede yer alan akademisyenlerin elektronik alışverişte güvenlik ve risk algılarını belirlemek için kullanmışlardır. Kümeleme analizi sonucunda, katılımcıların risk algılarına göre 4 farklı kümede toplandığı sonucuna varmışlardır [30]. Arı ve arkadaşları (2016) çalışmalarında iki aşamalı kümeleme yöntemini, Borsa İstanbul (BİST)'da işlem gören 90 adet firmanın kamuya açık finansal tablolarından belirlenmiş olan finansal oranlarının performanslarını incelemek için kullanmışlardır [31]. Giray (2016) çalışmasında bir cezaevinin hükümlü kütüğü verilerinden faydalanarak hükümlülerin profillerini belirlemek amacıyla iki aşamalı kümeleme yöntemini kullanmıştır. Çalışma kapsamında yer alan yaş, suç türü, ve suçun işlendiği bölge gibi değişkenlere göre 4 farklı küme belirlenmiş, analiz sonucu oluşan kümelerin birbirlerine benzer ve birbirlerinden farklı özellikleri detaylı irdelenmiştir [32]. Kayri ve Günüş (2016) çalışmalarında iki aşamalı kümeleme analizi kullanarak bireylerin internet bağımlılık düzeylerini yaşadığı coğrafya, kültür ve sosyoekonomik koşullara göre 3 grupta incelemişlerdir [33].

2.2. İki Aşamalı Kümeleme Analizi (Two-Step Clustering Analysis)

İki aşamalı kümeleme yöntemi, çok büyük veri kümelerini işlemek üzere tasarlanmış ölçeklenebilir bir kümeleme analizi algoritmasıdır [34-35]. Bu algoritmanın en önemli özellikleri; büyük veri setlerinde uygulanabilmesi, kategorik ve sürekli değişkenleri işleyebilmesi, otomatik olarak en uygun küme sayısını belirleyebilmesi ve elde edilen kümelerle uyum

sağlamayan gözlemlerin istendiğinde veriden ayıklanabilmesidir. İki aşamalı kümeleme analizinde, süreç *ön kümeleme* ve *kümeleme* olmak üzere iki ana aşamadan oluşmaktadır:

Ön kümeleme aşamasında, gözlemler küçük alt kümelerle ayrılarak ön kümeleme yapılır ve daha sonra bu alt kümeler ayrı gözlemler olarak ele alınır. Gözlemin önceden oluşturulmuş bir kümeleme içerisinde mi yoksa yeni bir kümeleme mi katılacağı kararı uzaklık kriterlerine dayanarak hiyerarşik küme yöntemi ile yapılmaktadır.

Kümeleme aşamasında ise, ön kümelemeden kaynaklanan alt kümeler, gerekli küme sayısına göre gruplanır. Alt kümelerin sayısı gözlem sayısından daha küçük olduğundan, geleneksel gruplama yöntemlerinin kullanımı kolaydır. İki aşamalı kümeleme yöntemi kümelerin sayısını otomatik belirleyen aglomeratif hiyerarşik bir yöntem kullanır. Hiyerarşik kümeleme yöntemi, işlemin sonunda yalnızca tüm gözlemleri içeren bir küme kalana kadar kümelerin ardışık olarak birleştirildiği bir işlemi ifade etmektedir. İşlem, ön kümeleme aşamasında üretilen alt kümelerin her biri için bir başlangıç kümesi tanımlayarak başlamaktadır. Daha sonra tüm kümeler karşılaştırılır ve aralarındaki uzaklığı en küçük olan küme çifti seçilir ve tek bir kümeye birleştirilir. Birleşmeden sonra, yeni küme setleri karşılaştırılır; en yakın küme çifti birleştirilir ve süreç, tüm kümeler birleşene kadar tekrarlanır. Kümeler bu şekilde tekrar tekrar bir araya getirildiğinden, farklı küme sayılarıyla çözümleri karşılaştırmak daha kolaylaşmaktadır. İki aşamalı kümeleme yönteminin aşamalarında kullanılan işlemler aşağıda ifade edilmiştir:

2.2.1. Uzaklık ölçüsü (Distance Measure)

İki aşamalı kümeleme analizinin her iki aşamasında uzaklık ölçüsüne ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer, verisetinde bir veya daha fazla değişken kategorik ise, olasılığa dayalı mesafeyi temsil eden log-olabilirlik uzaklık ölçüsü kullanılmaktadır. Log-olabilirlik uzaklık hesaplamasında, sürekli değişkenler için normal dağılım ve kategorik değişkenler için ise multinomial dağılım varsayımı yapılmaktadır. Ayrıca, değişkenlerin birbirinden bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Tüm değişkenlerin sürekli olduğu durumda ise, Öklid uzaklığı kullanılır, böylece gözlemler en küçük Öklid uzaklığına sahip kümede gruplanır. SPSS paket programı, kategorik ve sürekli değişkenlerle uyumlu olduğundan, kümeleri birleştirmek üzere mesafe ölçüsü olarak log-olabilirlik uzaklık ölçüsü kullanılmaktadır [36-37]. Kümeler arasındaki log-olabilirlik uzaklığı (1), (2) ve (3) nolu eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$d(i, j) = \xi_i + \xi_j - \xi_{<i,j>} \quad (1)$$

burada, i ve j kümeler, ξ_i ise i kümesi içinde bir çeşit varyans (dağılım) olmak üzere, $d(i, j)$ i ve j kümeleri arasındaki log-olabilirlik uzaklığını, $<i,j>$ ise i ve j kümelerini birleştirerek oluşturulan kümeyi temsil eder.

$$\xi_j = -N_j \left(\sum_{k=1}^{K^A} \frac{1}{2} \log(\sigma_k^2 + \sigma_{jk}^2) + \sum_{k=1}^{K^B} E_{jk} \right) \quad (2)$$

burada, j küme ve k değişken (kategorik veya sürekli) olmak üzere, N_j j kümesindeki gözlem sayısını, K^A toplam sürekli değişken sayısını, K^B toplam kategorik değişken sayısını, σ_k^2 k sürekli değişkeninin (tüm veri seti bazında) tahminlenmiş varyansını (yayılmı), σ_{jk}^2 k sürekli değişkeninin j kümesindeki tahminlenmiş varyansını temsil etmektedir.

$$E_{jk} = - \sum_{l=1}^{L^K} \frac{N_{jkl}}{N_j} \log \frac{N_{jkl}}{N_j} \quad (3)$$

burada, l kategori olmak üzere L^K k. kategorik değişkeninin kategori sayısını, N_j j kümesindeki gözlem sayısını, N_{jkl} l kategorili k değişkeninin bulunduğu j kümesindeki gözlem sayısını ifade etmektedir.

2.2.2. Küme sayısı: otomatik küme (Number of clusters: auto-cluster)

İki Aşamalı Kümeleme Analizi, küme sayısı konusunda bir ön bilginin olmadığı durumlarda kullanılabilir. Bu analiz tekniğinde optimum küme sayısı yöntem tarafından belirlenir. Küme sayısının otomatik olarak belirlenmesinde Bayesçi Bilgi Ölçütü (Bayesian Information Criterion-BIC) veya Akaike Bilgi Ölçütü (Akaike Information Criterion-AIC) kullanılmaktadır. BIC ve AIC denklemleri eşitlik (4), (5) ve (6) ile hesaplanmaktadır.

$$BIC(j) = -2 \sum_{j=1}^J \xi_j + m_j \log(N) \quad (4)$$

$$AIC(j) = -2 \sum_{j=1}^J \xi_j + 2m_j \quad (5)$$

$$m_j = J \left\{ 2K^A + \sum_{k=1}^{K^B} L^K - 1 \right\} \quad (6)$$

burada j küme k değişken olmak üzere, K^A toplam sürekli değişken sayısını, K^B toplam kategorik değişken sayısını, L^K ise k kategorik değişkenindeki kategori sayısını temsil etmektedir.

2.2.3. Önem ölçütü (Importance measure)

Kümeleme oluşturan değişkenlerin görece katkısı (önemi), her iki değişken türü (sürekli ve kategorik) için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Önem değerleri 0-1 arasında derecelendirilmektedir. 0 kümeleri belirlemede en önemsiz değişkeni ve 1 ise son derece önemli değişkeni ifade etmektedir. Önem ölçütü, sürekli değişkenler için t

testine, kategorik değişkenler için ise chi-square (χ^2) anlamlılık testine dayanmaktadır. Sürekli değişkenler için önem ölçütünün hesaplanması eşitlik (7)' de gösterilmiştir:

$$t = \frac{\mu_k - \mu_{jk}}{\sigma_{jk}} \sqrt{N_k} \quad (7)$$

burada, j küme ve k sürekli değişken olmak üzere, N_k tüm veri seti içindeki sürekli değişken sayısını, μ_k k sürekli değişkeninin ortalamasının tahmincisini, μ_{jk} k sürekli değişkeninin j kümesindeki tahminlenmiş ortalamasını, σ_{jk} k sürekli değişkeninin j kümesindeki tahminlenmiş varyansını ifade etmektedir. Kategorik değişkenler için önem ölçütünün hesaplanması eşitlik (8)' de gösterilmiştir:

$$x^2 = \sum_{l=1}^{L^K} \left(\frac{N_{jkl}}{N_{kl}} - 1 \right)^2 \quad (8)$$

burada, l kategori, k kategorik değişken, ve j küme olmak üzere, L^K k. kategorik değişkeninin kategori sayısını, N_{jkl} l kategorili k kategorik değişkeninin bulunduğu j kümesindeki gözlem sayısını, N_{kl} l kategorili k kategorik değişkeninin sayısını göstermektedir.

3. UYGULAMA (APPLICATION)

Çalışmada, Türkiye'de faaliyet gösteren bir emeklilik şirketinin 2014 yılı içerisinde bireysel emeklilik planı açmış 2017 yılına kadar ödemelerine devam eden aktif müşterileri ele alınmıştır. Kullanılan veri bireysel emeklilik sisteminde özel müşteri olarak bahsedilen (yüz bin lira ve üstü fon sahibi olan veriler hariç) tüm plan türlerini içeren bir yapıda hazırlanmıştır. Söz konusu şirketin veritabanından, sözleşme ve müşteri bilgileri gizliliği ihlal edilmeksizin emeklilik başlangıç tarihi göz önüne alınarak 171.625 katılımcının demografik, sosyo-kültürel bilgilerinin yanısıra ödeme ve tasarruf bilgileri alınmıştır. Çalışmada, katılımcı verilerinin öncelikle frekans tabloları ve betimleyici istatistikleri incelenmiş, ardından katılımcılar arasındaki homojen alt grupların araştırılması için verilere İki Aşamalı Kümeleme Analizi uygulanmıştır. Tablo 1' de analizde kullanılan değişkenlere ait frekans ve yüzde dağılımları oluşturulmuştur. Bu dağılımlara göre; katılımcıların %64.35'ini erkekler oluştururken, %35.65'ini kadınlar oluşturmaktadır.

Medeni durum değişkenine bakıldığında evli katılımcıların çoğunlukta (%60.49) olduğu görülmektedir. Verisetinde yer alan katılımcıların yaş grubuna göre dağılımları incelendiğinde BES katılımcıları için en düşük yaşın 18, en büyük yaşın 76 ve yaş ortalamasının ise 40.61 olduğu görülmektedir. Ancak, analizi açıklama ve yorumlama açısından yaş değişkeni, Emeklilik Gözetim Merkezinin resmi sitesinde yer alan 2015 yılı BES gelişim raporuna paralel olarak kategorik hale getirilmiştir [38].

Tablo 1. Değişkenlere ait frekans ve yüzde dağılım değerleri
(Frequency and percentage distribution values of variables)

Katılımcı Özellikleri		Frekans	Yüzde (%)
Cinsiyet	Erkek	110434	64.35
	Kadın	61191	35.65
Medeni Durum	Evli	103818	60.49
	Bekar	67807	39.51
Öğrenim Durumu	Ortaöğretim ve Lise	13237	7.71
	Önlisans ve Lisans	145186	84.59
	Lisansüstü	13202	7.69
Aylık Katkı Payı	250 TL ve altı	141812	82.63
	251-500 TL	21573	12.57
	501-750 TL	4421	2.58
	751- 1000 TL	836	0.49
	1000 TL ve üzeri	2983	1.74
Ödeme Aracı	Havale	12590	7.34
	Kredi kartı	93597	54.54
	Otomatik ödeme	65438	38.13
Meslek	Mühendis	22416	13.06
	İşçi	22403	13.05
	Serbest Meslek	22337	13.02
	Avukat	14907	8.69
	Doktor	14894	8.68
	Devlet Memuru	14904	8.68
	Öğretmen	14965	8.72
	Asker	7472	4.35
	Sanatçı	7451	4.34
	Mimar	7462	4.35
	Esnaf	7473	4.35
	Özel sektör çalışanı	7462	4.35
	Akademisyen	7479	4.36
Kalkınmışlık	1. Kademe gelişmiş iller	107226	62.48
	2. Kademe gelişmiş iller	22778	13.27
	3. Kademe gelişmiş iller	18435	10.74
	4. Kademe gelişmiş iller	10876	6.34
	5. Kademe gelişmiş iller	7391	4.31
	6. Kademe gelişmiş iller	4919	2.87
Yaş	25 yaş altı	5736	3.34
	25 ve 34 yaş	43084	25.1
	35 ve 44 yaş	66486	38.74
	45 ve 55 yaş	43434	25.31
	56 yaş ve üstü	12885	7.51

Böylece, belirli bir ortalama değerdense, farklı yaş grupları arasındaki farklı tasarruf tutumları hakkında yorum yapmak daha anlamlı olacaktır. Tablo 1'e göre, katılımcıların büyük çoğunluğu (%38.74) 35-44 yaş aralığında bulunmaktadır. 25 yaş ve altı, %3.34 oranı ile en az katılımcının bulunduğu kategori durumundadır. Ayrıca, mühendis (%13.06), işçi (%13.05) ve serbest meslek (%13.02) gruplarına sahip katılımcıların çoğunlukta olduğu görülmektedir.

Öğrenim durumu değişkeni veri setinde, ortaöğretim ve lise, Önlisans ve lisans ve lisansüstü mezunu olmak üzere 3 kategori halinde bulunmaktadır. Katılımcıların eğitim seviyesi incelendiğinde Önlisans ve Lisans mezunu olanların büyük bir çoğunlukta olduğu görülmektedir (%84.59). Bu orana göre, eğitim seviyesinin yükseldikçe

uzun vadeli tasarruf eğiliminin de arttığını görmekteyiz. *Aylık katkı payı değişkeni*; katılımcıların tasarrufları için yaptıkları düzenli aylık ödeme miktarını göstermektedir.

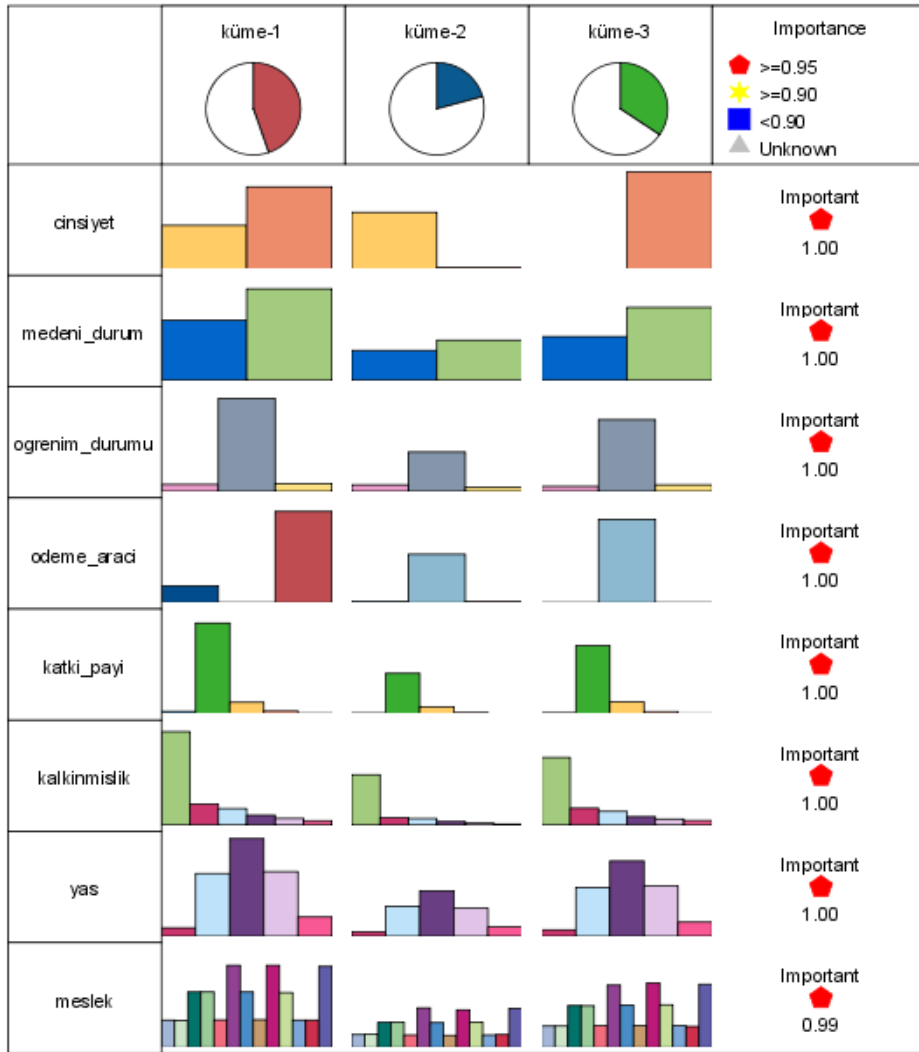
Veriseti içinde aylık 250 TL ve altı katkı payı ödeyenlerin oranı %82.63 iken, 1000 TL ve üstü ödeme planı olanların ise %1.74' tür. Bu durum, katılımcıların her ay küçük miktarda birikim yaparak ilerlemeyi tercih ettiğini göstermektedir. Ayrıca, katkı payları sözleşmelerde belirtilen havale, kredi kartı ve banka şubesine verilen otomatik ödeme talimatları gibi ödeme araçları ile yapılabilmektedir. Söz konusu verisetinde, katılımcıların, aylık ödemelerinde kredi kartını sıklıkla (%54.54) tercih ettiği görülmektedir. Katılımcıların en yoğun olduğu ilk dört il sırasıyla İstanbul (%30.61), Ankara (%9.77) ve İzmir (%6.63) ve Antalya'dır (%5.13).

Kalkınmışlık değişkeni ise, katılımcıların yaşadığı şehir bilgisi baz alınarak oluşturulmuştur. İkamet ili yurtdışı olan 101 adet katılımcı verisetinden çıkarılmıştır. Verisetinde yer alan şehir sütunu, Kalkınma Bakanlığı'nın resmi sitesinde yayınlanan "İllerin ve Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması" isimli raporunda yer alan illerin gelişmişlik seviyeleri sınıflamasına göre kategorilere ayrılmıştır.

İllerin gelişmişlik düzeyi belirlenirken "ilin ülke içerisindeki ekonomik ağırlığı, bireysel zenginlik ve refah düzeyi, sosyal gelişmişlik seviyesi, il ölçeğinde ekonomik ve sosyal gelişmişlik ile bireysel refah arasındaki denge" gibi değişkenlerle göz önüne alınmıştır [39]. Bu yöntemle oluşturulan kalkınmışlık değişkeni toplam altı kademeli bir gelişmişlik dağılımı göstermektedir. Buna göre, 1. kademe gelişmiş 8 il, 2. kademe gelişmiş 13 il, 3. kademe gelişmiş 12 il, 4. kademe gelişmiş 17 il, 5. kademe gelişmiş 16 il ve 6. kademe gelişmiş 15 il bulunmaktadır. Tablo 1'de de görülebileceği gibi BES'e dahil olan katılımcıların sayısı illerin gelişmişlik seviyesiyle ters orantılı şekilde azalma eğilimi göstermektedir. Buna göre, katılımcıların büyük çoğunluğu %62.48' i oranı ile 1. kademe gelişmiş illerde yaşamaktadır.

İki aşamalı kümeleme analizi, SPSS'in veri madenciliği modülü olan SPSS Clementine 12.0 programı kullanılarak yapılmıştır [40]. İki aşamalı kümeleme yöntemi, küme sayısı hakkında önbilginin olmadığı ve özellikle büyük veri setinde sürekli ve kategorik değişkenlerin bir arada bulunduğu durumlarda kolaylıkla kullanılabilen bir kümeleme yöntemidir.

Bu çalışmada, iki aşamalı kümeleme analizinin kullanılmasının temel amacı ise; ele alınan emeklilik şirketinin veritabanında yer alan büyük hacimli müşteri verisetini benzer özelliklere (değişkenlere) göre aynı kümede toplayarak farklı grupları belirlemek ve bu gruplar üzerindeki değişkenlerin önemini görebilmektir. Böylece, mevcut müşterileri farklı gruplara ayırarak her bir gruba özel müşteriler hakkında stratejik kararlar alınmasında şirkete yardımcı olması beklenmektedir. Sahip olunan verinin büyüklüğü de göz önüne alındığında kümelerin anlamlı ve güvenilir sonuçlar vermesi beklenmektedir. İki aşamalı kümeleme analizinin önemli avantajlarından biri, küme sayısının otomatik olarak seçilmesini sağlamasıdır.



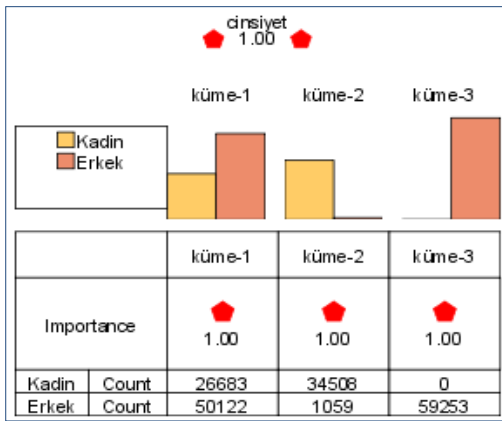
Şekil 1. İki aşamalı kümeleme yöntemi ile elde edilen kümeler
(Obtained clusters by two-step cluster analysis)

Program, 2 ile 15 küme arasında geniş bir aralık sunarak küme sayısını otomatik olarak bulmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, bireysel emeklilik sistemine başvuruda bulunan 171.625 katılımcı üç kümeye bölünmüştür. Bu üç küme sırasıyla, 76805 (%44.75), 35567 (%20.72), ve 59253 (%34.52) katılımcıdan oluşmaktadır. Çalışmaya her ay düzenli olarak katkı payı ödeyen katılımcılar dâhil edilmiş, homojenliğin sağlanması açısından diğer katılımcılar veri setinden çıkarılmıştır. SPSS Clementine, her değişkenin (kategorik veya sürekli) küme üzerindeki önem seviyesi hakkında bilgi vermektedir. Programda, önem seviyesi 0.95 ve üzerinde olan değişkenlerin küme üzerinde önemli etkisinin olduğu kabul edilmektedir.

3.1. Bireysel Emeklilik Müşterilerinin İki Aşamalı Kümeleme Analizi ile Değerlendirilmesi (Evaluation of Individual Pension Customers by Two-Step Cluster Analysis)

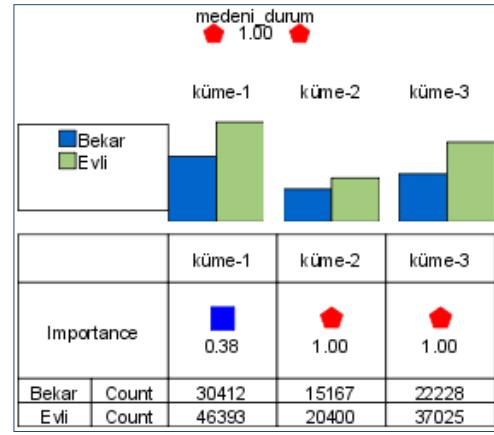
Bu aşamada, analiz sonucu oluşan üç kümede yer alan katılımcı profilleri genel hatlarıyla açıklanmıştır. Kümelerin yorumlanmasında katılımcıların cinsiyet, medeni durum, yaş, meslek, öğrenim durumu, yaşadığı şehir bilgilerinin yanısıra ödeme ve tasarruf bilgileri analiz için bize yönlendirme yapacaktır.

Cinsiyet değişkeni, Şekil 2'de görüldüğü gibi her üç küme için önemli çıkmıştır. Birinci kümede erkek (%65.26), ikinci kümede ise kadın katılımcıların (%97.02) çoğunlukta olduğu görülmektedir. Üçüncü kümenin tamamı ise sadece erkek katılımcılardan oluşmaktadır.



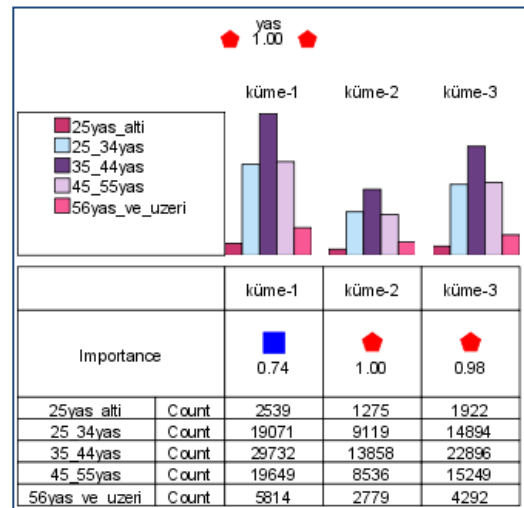
Şekil 2. Cinsiyet değişkeninin kümelere dağılımı
(Distribution of gender variable into clusters)

Medeni durum değişkenini ikinci ve üçüncü kümeler için anlamlı iken, birinci küme için önemsiz olduğu görülmektedir. Şekil 3' te de görüldüğü gibi her üç kümede evli katılımcılar çoğunlukta. Buna göre, evli olmak bireysel emeklilik ve tasarruf kararları için önemli bir değişkendir.



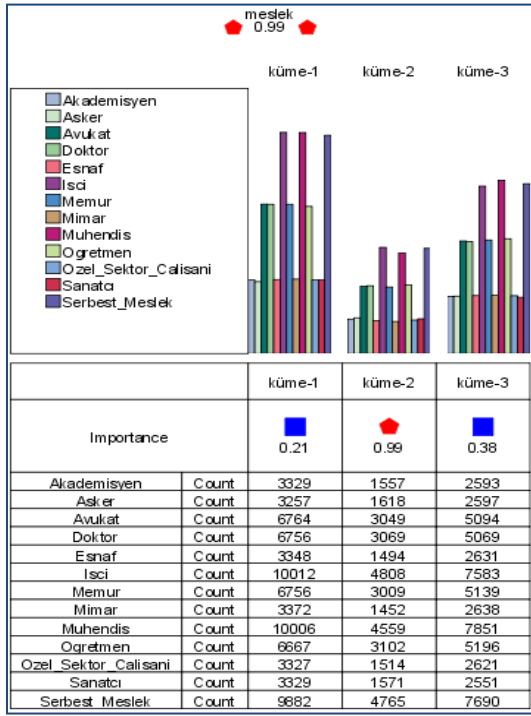
Şekil 3. Medeni durum değişkeninin kümelere dağılımı
(Distribution of marital status variable into clusters)

Şekil 4' te yer alan yaş değişkeni ikinci ve üçüncü kümeler için anlamlı iken, birinci küme üzerinde önemsiz olduğu görülmektedir. Sırasıyla, %38.71, %38.96 ve %38.64 oranı ile her üç kümede, BES'e katılımın en çok olduğu yaş grubunun 35-44 yaş aralığı olduğunu görmekteyiz. Bu grubu, birinci kümede %25.58 ile 45-55 yaş grubu, ikinci kümede %25.64 ile 25-34 yaş grubu ve üçüncü kümede %25.74 ile 45-55 yaş grubu izlemektedir. 56 yaş ve sonrası katılımcı sayısı oldukça düşüktür. Buna göre, ortaya çıkan kümelerin yaş değişkeni açısından dengeli olduğu söylenebilir. Ayrıca, bilindiği üzere bir katılımcının BES'ten emekli olabilmesi için 56 yaşını doldurmuş ve sistemde 10 yıl düzenli ödeme yapmış olması gerekmektedir.



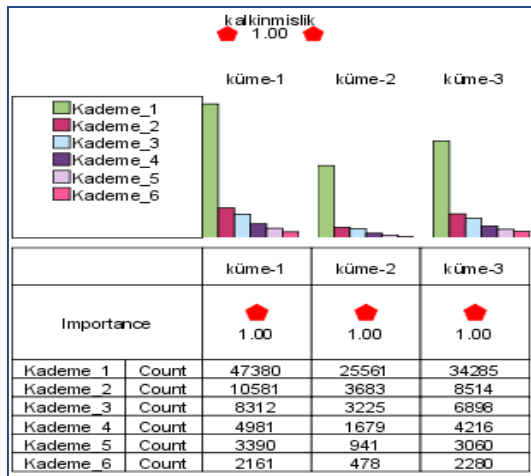
Şekil 4. Yaş değişkeninin kümelere dağılımı
(Distribution of age variable into clusters)

Meslek değişkeni, sadece ikinci küme için önemli iken, 1 ve 3. kümeler üzerinde etkili değildir. Şekil 5'te de görüldüğü üzere, birinci ve ikinci kümelerde sırasıyla %13.04 ve %13.52 oranıyla işçilerin çoğunlukta olduğu görülmektedir. Üçüncü kümede ise, %13.25 oranıyla mühendis ve %12.98 oranıyla serbest meslek grubundaki katılımcıların diğer meslek grubundaki katılımcılara kıyasla fazla olduğu görülmüştür.



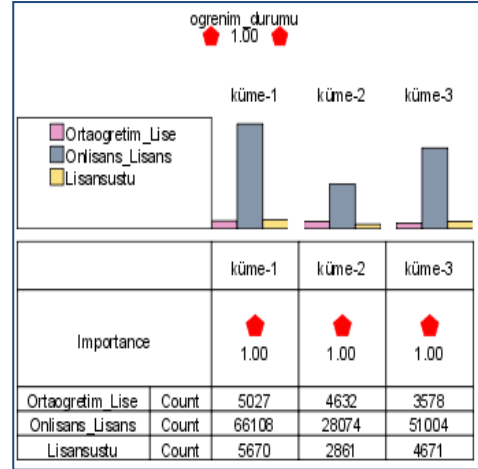
Şekil 5. Meslek değişkeninin kümelere dağılımı
(Distribution of occupation variable into clusters)

Katılımcı kümelerinin kalkınmışlık değişkenine göre kıyaslanması Şekil 6'da yer almaktadır. Şekil 6 incelendiğinde kalkınmış değişkeni her üç küme üzerinde önemli bir değere sahiptir. Her üç kümede yer alan katılımcıların büyük bir kısmı en çok gelişmiş 8 şehri ifade eden 1. kademe kategorisinde yer almaktadır. Bu kategorinin üç küme içerisindeki oranı sırasıyla % 61.69, %71.87 ve %57.86 şeklindedir. Diğer kademe gelişmiş illerde yaşayan katılımcıların sayısı ise, katılımcıların yaşadıkları şehirlerin gelişmişlik seviyesi düştükçe azalmaktadır. Buna göre, katılımcıların yaşadıkları şehirlerin sosyoekonomik ve demografik özelliklerinin farklı olması, katılımcıların tasarruf yapma kararlarını doğrudan etkilediği görülmektedir. Katılımcıların birinci kademe iller arasında yer almasının önemli sebeplerinden biri eğitim alanında gelişmişlik seviyesinin yüksek olmasıdır.



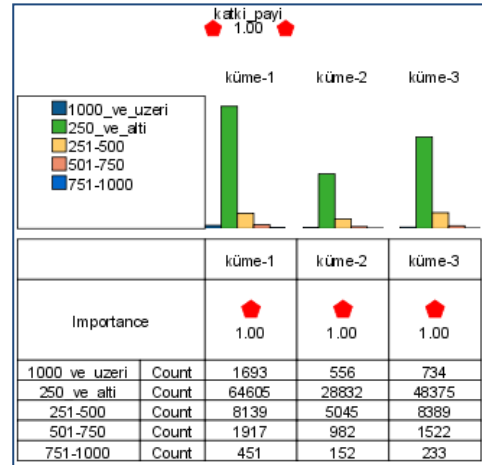
Şekil 6. Kalkınmışlık değişkeninin göre kümelere dağılımı
(Distribution of development variable into clusters)

Şekil 7' de görüldüğü gibi *öğrenim durumu* değişkeni, üç kümeyi etkileyen önemli bir değişkendir. Her üç kümede, önlisans ve lisans mezunu katılımcıların sayısı, diğer kategorilere kıyasla çok fazladır.



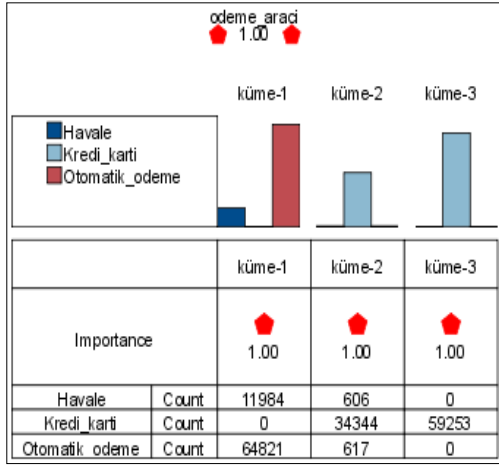
Şekil 7. Öğrenim durumu değişkeninin kümelere dağılımı
(Distribution of education status variable into clusters)

Her üç küme üzerinde önemli olan değişkenlerden biri de beş kategoriden oluşan *katkı payı* değişkenidir. Şekil 8'de de görüldüğü gibi her üç kümede yer alan katılımcıların %80' inden fazlası sözleşmelerini imzalarken düşük düzeylerde katkı payı ödemeyi tercih etmektedir. Bu duruma sebeplerden biri, ülkemizdeki bireylerin BES'i tasarruf aracı olarak yeterince anlayamaması ve tasarruflarını altın, döviz, hazine bonosu/devlet tahvili ve gayrimenkul gibi genel yatırım araçlarına yatırmalarından kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 8. Katkı payı değişkeninin kümelere dağılımı
(Distribution of contribution rate variable into clusters)

Şekil 9'da belirtildiği gibi *ödeme aracı* değişkeni tüm kümeler için önemli bir değişkendir. 3. kümede yer alan katılımcıların tamamının ödemelerini kredi kartı ile yaptığını görmekteyiz. 1. kümede yer alan katılımcıların büyük çoğunluğu ödemelerini %84.4 oranı ile banka şubesine verilen hesaptan otomatik ödeme talimatı ve %15.6 oranı ile havale yoluyla yapmaktadırlar.



Şekil 9. Ödeme aracı değişkeninin kümelere dağılımı
(Distribution of payment type variable into clusters)

4. SONUÇ (RESULT)

Katılımcı hacmi ve fon büyüklüğü açısından istikrarlı bir şekilde büyümeye devam eden bireysel emeklilik sektöründe, müşteriye sunulan ürün ve hizmetin artırılması müşteri sürekliliğinin sağlanması ve müşteri kayıplarının önüne geçilmesi açısından önem arz etmektedir. Ayrıca, sistem içerisinde bulunan mevcut müşterilerin katkı paylarını arttırması ve ek sözleşmeler açması bu sektörde faaliyet gösteren şirketlerin pazar payı, karlılık ve fon büyüklüğü arttırmaları açısından oldukça önemlidir. Sektörün hızla büyümesi yeni şirketlerin pazara girmesine, istihdam artışına ve buna bağlı olarak yeni bir rekabet pazarına yol açacaktır. Bu nedenle, bireysel emeklilik şirketleri öncelikli olarak veri madenciliği teknikleriyle geliştirilen müşteri odaklı analiz ve yaklaşımlar geliştirmelidirler. Böylelikle, şirketlerin daha karlı ve müşteri memnuniyeti yüksek bir şekilde devam edebilmeleri için sistemi iyi tasarlanmış ve doğru tahminler içeren bir yapıda olması gerekmektedir.

Bu çalışmada, veri madenciliğinin önemli yöntemlerinden biri olan kümeleme analizi ile bireysel emeklilik sektöründe faaliyet gösteren bir şirkete dahil olan müşteriler demografik, sosyo-kültürel bilgilerinin yanı sıra ödeme ve tasarruf bilgilerine göre 3 farklı kümeye ayrılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, katılımcıların tasarruf yapma kararlarını doğrudan etkileyen önemli değişkenler kalkınmışlık, öğrenim durumu, ödeme aracı ve cinsiyet olup, her üç küme için de önemli değişkenlerdir. Ancak, katkı payı, yaş, medeni durum ve meslek değişkenleri her üç küme için eşit öneme sahip değildir. Buna göre, hedef müşteri grubunun daha net bir şekilde anlaşılması için katılımcının yaşadığı şehir, eğitim seviyesi, katkı payı ödeme şekli ve cinsiyet bilgisi önemli değişkenler olup stratejik ve önemli kararların alınması açısından karar vericilere (şirketlere) faydalı olması beklenmektedir.

Kümelere katılımcı profilleri incelendiğinde; 1. ve 2. kümelere katılımcıların büyük çoğunluğunu erkekler oluştururken, 3. kümeyi ise sadece kadın katılımcılar oluşturmaktadır. Ayrıca, her üç kümede de sistemi

çoğunlukla çalışan, evli ve eğitim düzeyi yüksek kişilerce tercih edildiği görülmüştür. Sistemdeki 35-44 yaş grubu aralığının toplam katılımcıların %38.74' ünü oluşturması bu yaş aralığındaki katılımcıların geleceği açısından emeklilik sistemine daha olumlu yaklaşımlarına işaret ettiği sonucuna varılmıştır. Bunların yanı sıra, katılımcıların yaşadıkları şehirlerin kalkınmışlık seviyesi arttıkça, katılımcıların daha çok tasarruf yapabilme eğilimi gösterdikleri görülmüştür. Ödeme türleri konusunda çoğunluğun kredi kartı üzerinden ödeme yapması müşterilerin büyük bir kısmının banka satış kanalı ve anlaşmalı bankalar ile sisteme dahil olduğunun sonucudur. Bu nedenle, sistemin bankacılık sistemi ile entegre gitmesi sürecin devamlılığı ve yasal takibi açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, günümüzde kredi kartları sadece tüketim faaliyeti sürecinde yer alırken bu sistem ile tasarruf edinme sürecinde de yer alabildiği sonucuna varılabilir. Her üç kümede de sisteme dahil olan katılımcıların çoğunluğu tasarruflarını aylık 0-250 tl katkı payı ile düşük birikimlerle yaptığını görmekteyiz. Bu durum, toplumda henüz tasarruf kültürü ve emeklilik bakış açısına sahip olunmadığının ve sisteme duyulan güvenin yetersiz olduğunun kanıtıdır.

Sonuç olarak, BES' in katılımcılara daha etkin ifade edilmesi, kamunun bu sisteme güveninin artırılması ve tanıtım çalışmalarına daha fazla ağırlık verilmesi gerekmektedir. Özellikle, araştırma neticesinde de görüldüğü gibi uygun satış pazarlama stratejilerinin hazırlanmasında şirketlerin katılımcı tabanını nispeten düşük eğitilmiş ve düşük kalkınmışlık düzeyine sahip bölgelerde yaşayan katılımcıların lehine genişletmesi gerektiği sonucuna ulaşılabılır. Bu nedenle, bireysel emeklilik sisteminin kapsamına ilişkin daha detaylı reformların yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Emeklilik Gözetim Merkezi. "BES Temel Göstergeleri", <http://www.egm.org.tr/webink/BESgostergeler.asp>, 01.05.2017.
- [2] The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). "Pension Markets in Focus, 2016". <http://www.oecd.org/daf/fin/private-pensions/Pension-Markets-in-Focus-2016.pdf>, 01.05.2017.
- [3] Z. Kaydu, **Bireysel Emeklilik Sisteminde Tüketici Profillerinin Farklılaşması: Antalya ve Isparta İllerinin Karşılaştırılması Örneği**, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2006.
- [4] E. İşbilin, **Bireysel Emeklilik Sistemi ve Türkiye Uygulaması**, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [5] O. Şener, F. Akın, **Özel Emeklilik Fonları ve Türkiye'de Bireylerin Bireysel Emeklilik Sistemine Giriş Kararlarını Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma**, *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 28 (1), 291-312, 2010.
- [6] Ö. Özer, E. Çınar, "Bir Vakıf Üniversitesini Akademik Personelinin Bireysel Emeklilik Sistemine Bakış Açısının Değerlendirilmesi", *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9 (19), 75-88, 2012.
- [7] S. Yazıcı, **Bireysel Emeklilik Sistemi ve Türkiye Uygulaması**, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2015.
- [8] Ş. B. Salantur, **Bireysel Emeklilik Katılımcılarının Sistemden Erken Çıkma Riskinin Değerlendirilmesi**, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2015.

- [9] H. Güneş, **Bireylerin Bireysel Emeklilik Sistemine Yönelik Tutum ve Davranışları: Karabük İlinde Bir Alan Araştırması**, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük, 2015.
- [10] İ. Çömlekçi, O. Gökmen, "Bireysel Emeklilik Sistemine Katılmada Etkili Olan Faktörler: TR42 Bölgesinde Bir Araştırma". *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(49), 2017.
- [11] Y. Yin, I. Kaku, J. Tang, J.M. Zhu, **Data Mining: Concepts, Methods and Applications in Management and Engineering Design**, 2011.
- [12] P.N. Tan, M. Steinbach, V. Kumar, **Introduction to Data Mining**, International Edition, Pearson Education Inc., Boston, USA, 2006.
- [13] G.S. Linoff, M.J. Berry, **Data Mining Techniques: for Marketing, Sales and Customer Relationship Management**, Indianapolis, Wiley Publishing Inc., 2011.
- [14] S. Savaş, N. Topaloğlu, M. Yılmaz, "Veri Madenciliği ve Türkiye'deki Uygulama Örnekleri". *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(21), 1-23, 2012.
- [15] T. Özcan, **Perakende endüstrisinde raf alanı yönetimine veri madenciliği eşanlı analitik bir yaklaşım**. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [16] Y.L. Chen, J.M. Chen, C.W. Tung, "Data mining approach for retail knowledge discovery with consideration of the effect of shelf-space adjacency on sales". *Decision support systems*, 42, 1503-1520, 2006.
- [17] J. Han, M. Kamber, J. Pei, **Data Mining Concepts and Techniques**, Morgan Kaufmann Publishers Inc., Waltham, USA, 2012.
- [18] İ. Ertuğrul, A. Organ, A. Şavlı, "Veri madenciliği uygulamasına ilişkin PAÜ hastanesinde hasta profilinin belirlenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2), 97-103, 2013.
- [19] S. Giray, F.E. Gülel, "Avrupa Ülkelerinin İntihar Oranlarına Göre Sınıflandırılması". *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31, 235-247, 2014.
- [20] R.K. Blashfield, M.S. Aldenderfer, "The literature on cluster analysis". *Multivariate Behavioral Research*, 13, 271-295, 1978.
- [21] A. Uslu, C. Çetinkaya, E. Özceylan, S.K. İşleyen, "Organize Sanayi Bölgelerinin Hiyerarşik-K-Ortalamalar Yöntemi ile Analizi", *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 20-37, 2017.
- [22] R. Johnson, D. Wichern, **Applied Multivariate Statistical Analysis**, New Jersey: Prentice-Hall, 2002.
- [23] M. Kayri, "Two-Step Cluster analysis in researches: A case study". *Eurasian Journal of Educational Research (EJER)*, 28, 89-99, 2007.
- [24] Ç. Taşkın, G.G. Emel, "Veri madenciliğinde kümeleme yaklaşımları ve kohonen ağları ile perakendecilik sektöründe bir uygulama". *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(3), 395-409, 2010.
- [25] Choi W, Shah P, Das SK. "A framework for energy-saving data gathering using two-phase clustering in wireless sensor networks". **Proceedings of the First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'04)**, Boston, USA, 2004.
- [26] D. Schiopu, "Applying Two Step Cluster Analysis for Identifying Bank Customers' Profile". *Universităţii Petrol – Gaze din Ploieşti, ŞtiinŃe Economice*, LXII (3), 66-75, 2010.
- [27] M. Namvar, M.R. Gholamian, S.K. Abi, "A Two Phase Clustering Method for Intelligent Customer Segmentation". *International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)*, Liverpool, United Kingdom, 2010.
- [28] S. Savaş, N. Topaloğlu, "Veri Madenciliği Yöntemi İle GSM Şebekelerinin Performans Analizi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4), 741-751, 2011.
- [29] M.B. Yılmaz, "Profiles of University Students According to Internet Usage with the Aim of Entertainment and Communication and their Affinity to Internet". *International Online Journal Education Science*, 4(1), 225-242, 2012.
- [30] H. Çetin, S. Irmak, "Elektronik Alışverişte Akademisyenlerin Güvenlik ve Risk Algılarının Belirlenmesi". *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 12(24), 275-294, 2014.
- [31] E.S. Arı, H. Özköse, A. Doğan, M.H. Calp, "İstanbul Borsası'nda İşlem Gören Firmaların Performanslarının Kümeleme Analizi İle Değerlendirilmesi". *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(1), 33-39, 2016.
- [32] S. Giray, "İki Aşamalı Kümeleme Analizi ile Hükümlü Verilerinin İncelenmesi". *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, 25, 1-31, 2016.
- [33] M. Kayri, S. Günüş, "Yüksek ve Düşük Sosyoekonomik Koşullara Sahip Öğrencilerin İnternet Bağımlılığı Açısından Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi". *The Turkish Journal on Addictions*, 3(2), 165-183, 2016.
- [34] S. Rundle-Thiele, K. Kubacki, A. Tkaczynski, J. Parkinson, "Using Two-Step Cluster Analysis to Identify Homogeneous Physical Activity Groups". *Marketing Intelligence & Planning*, 33(4), 522-537, 2015.
- [35] A. Tkaczynski, "Segmentation using two-step cluster analysis", **Segmentation in Social Marketing**, Editörler: Dietrich T, Rundle-Thiele S, Kubacki K. Springer, Singapore, 109-125, 2017.
- [36] A. Özdemir, K. Orçanlı, "İki Aşamalı Kümeleme Algoritması İle Pazar Bölümlemesi, Müşteri Profillerinin Belirlenmesi ve Niş Pazarların Tespiti". *Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5 (3), 1-27, 2012.
- [37] J. Bacher, K. Wenzig, M. Vogler, "SPSS Twostep Cluster - A First Evaluation". **In RC33 Sixth International Conference on Social Science Methodology**, 2004.
- [38] Emeklilik Gözetim Merkezi. "Bireysel Emeklilik Sistemi Gelişim Raporu, 2015". <http://www.egm.org.tr/bes2015gr.asp>, 17.04.2017.
- [39] T.C. Kalkınma Bakanlığı. "İllerin ve Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması (SEGE-2011)". <http://www.kalkinma.gov.tr/Pages/content.aspx?l=7a0b8e4a-dd0f-43b1-880c-e682b9d15cc3&i=548>, 04.05.2017.
- [40] SPSS Inc. (2007). "Clementine 11.1 User's Guide". https://web.kku.ac.th/wichuda/DMining/ClementineUsersGuide_11.1.pdf, 03.03.2017.