

Balıkesir Üniversitesi FBE Dergisi

ISSN : 1301-7985
e-ISSN : 2536-5142

Balıkesir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Cilt:22 Sayı:1 Ocak 2020

JOURNAL OF BALIKESIR UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Volume : 22 Number : 1 January 2020

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ | Cilt : 22 Sayı : 1 Ocak 2020

Balıkesir
Üniversitesi
FBE
Dergisi



Yazışma Adresi:
BAUN FBE Dergisi, Balıkesir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, 10145 Çağış / Balıkesir
Telefon : (266) 612 10 77

<http://fbed.balikesir.edu.tr>
fbedergi@balikesir.edu.tr

fbedergi@balikesir.edu.tr



Balıkesir
Üniversitesi
FBE
Dergisi

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Cilt 22 Sayı 1 Ocak 2020

ISSN 1301-7985
eISSN 2536-5142



Journal of Balıkesir University
Institute of Science and Technology

Volume 22 Number 1 January 2020

ISSN 1301-7985
eISSN 2536-5142

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

CİLT: 22 SAYI: 1

Ocak 2020

ISSN 1301-7985
eISSN 2536-5142

Sahibi Balıkesir Üniversitesi Adına: Prof. Dr. İter KUŞ
Balıkesir Üniversitesi Rektörü

Baş Editör:

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

Balıkesir Üniversitesi

Alan Editörleri:

Eğitim Bilimleri

Prof. Dr. Hüseyin KÜÇÜKÖZER

Balıkesir Üniversitesi

Temel Bilimler

Doç. Dr. Fırat EVİRGEN

Balıkesir Üniversitesi

Mühendislik Bilimleri

Doç. Dr. Nuray GEDİK

Balıkesir Üniversitesi

Doç. Dr. Umut OKKAN

Balıkesir Üniversitesi

Yayın Kurulu:

Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Serdar KALE

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Hatice TORCU KOÇ

Balıkesir Üniversitesi

Prof. Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa TAVASLI

Uludağ Üniversitesi

Prof. Dr. İlyas UYGUR

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Kemal YÜRÜMEZOĞLU

Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Metin DEMİRTAŞ

Balıkesir Üniversitesi

Doç. Dr. Yasemin İNCE GÜNEY

Balıkesir Üniversitesi

Yazışma Adresi: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çağış Yerleşkesi
10145, Balıkesir

Tel: (0266) 612 10 77 Faks: (0266) 612 10 78

Elektronik Posta: fbedergi@balikesir.edu.tr

İnternet Adresi: <http://fbed.balikesir.edu.tr>

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

CİLT: 22 SAYI: 1

Ocak 2020

ISSN 1301-7985
eISSN 2536-5142

AMAÇ VE KAPSAM

Balıkesir Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Dergisinin amacı; Fen bilimleri, Mühendislik bilimleri ve Fen-Matematik Eğitimi alanlarında yapılan özgün araştırma makaleleri, kısa makaleleri, derlemeleri bu alanlarda saygın akademik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlamaktır.

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, bilimsel ve hakemli bir dergi olup 1999 yılından bu yana yılda iki kez (ocak ve temmuz aylarında) düzenli olarak yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe ve İngilizcedir.

YAYIM İZİNİ

Bireysel kullanım dışında, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'nde yayımlanan makaleler ve bu makalelerde yer alan şekiller ve tablolar yazılı izin olmaksızın çoğaltılamaz. Bilimsel makalelerde akademik usullere uygun atıf yapılmak sureti ile alıntı yapılabilir.

YAZILARIN BİLİMSEL VE HUKUKİ SORUMLULUĞU

Yayımlanan yazıların bilimsel ve hukuki sorumluluğu yazarlarına aittir. Editör, Yardımcı Editörler ve Yayın Kurulu üyeleri dergideki hatalardan veya kullanımından kaynaklanan sonuçlardan dolayı sorumluluk kabul etmez.

Yazışma Adresi: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çağış Yerleşkesi
10145, Balıkesir
Tel: (0266) 612 10 77 Faks: (0266) 612 10 78
Elektronik Posta: fbedergi@balikesir.edu.tr
İnternet Adresi: <http://fbed.balikesir.edu.tr>

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Numerical analysis for coupled systems of two-dimensional time-space fractional Schrödinger equations with trapping potentials

Tuzaklama potansiyelli iki-boyutlu zaman-yer kesirli türevli Schrödinger denklemlerinin bağlı sistemlerinin sayısal analizi 1-12

Betül HİÇDURMAZ

PON1 enzimi üzerine DT-15-Crown-5 taç eterinin etkisinin araştırılması

Investigation of the effect of DT-15-Crown-5 crown ether on PON1 enzyme 13-19

Adem ERGÜN, Baki ÇİÇEK

Üniversite tercihinin bulanık aksiyomatik tasarım ile değerlendirilmesi

Evaluating university choice by fuzzy axiomatic design 20-33

Hanife PALABIYIK, Sümeyye BAYINDIR, Özer UYGUN

Yeni 3,5-disübstitüe-2-pirazolin türevlerinin sentezi ve biyolojik aktivitelerinin incelenmesi

Synthesis and biological activity investigation of new 3,5-disubstituted-2-pyrazoline derivatives 33-47

Nuran KAHRİMAN

Harmonik bozulma şartlarında transformatör yüklenme kapasitesinin maksimizasyonu için pasif filtre tasarımı

Passive filter design to maximize loading capacity of transformers under harmonically distorted conditions 48-65

**Emine Hümeysra DEMİRCİOĞLU, Alp KARADENİZ,
Murat Erhan BALCI**

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

A novel method for solving a class of functional differential equations

Fonksiyonel diferansiyel denklemlerin bir sınıfının çözümü için yeni bir yöntem 66-79

Burcu GÜRBÜZ

Olabilirlik ortalama – varyans modelinin matematiksel analizi

Mathematical analysis of the possibilistic mean – variance model 80-91

Furkan GÖKTAŞ, Ahmet DURAN

Çimento, kireç ve uçucu kül ile iyileştirilen kaolin bentonit karışımı zeminlerin mekanik özellikleri

Mechanical properties of kaolin-bentonite mixture soils treated with cement, lime and fly ash 92-105

Tuğba ESKİŞAR

Semi-invariant lightlike submanifolds of golden semi-Riemannian manifolds

Altın semi-Riemann manifoldların semi-invariant lightlike altmanifoldları 106-121

Nergiz (ÖNEN) POYRAZI, Burçin DOĞAN

İnşaat sektöründe faaliyet gösteren yüklenicilerin sosyo-kültürel yapısı: Balıkesir ili örneği

Socio-cultural structure of contractor firms operating in construction: a sample of Balıkesir 122-132

Fehmi ÇİVİCİ, Tülay ÇİVİCİ

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Numerical analysis of single rammed aggregate piers installed in stratified soil profiles

Tabakalanmış zemin profillerinde inşa edilen tekil kırmataş kolonların sayısal analizi 133-148

Zülal AKBAY ARAMA

Identity graphs of finite cyclic groups

Sonlu devirli grupların birim grafları 149-158

Nazmiye Feyza YALÇIN, Yakup KIRĞIL

Türk yapı sektöründe yapı bilgi modellemesinin adaptasyonu

Adoption of building information modeling in the Turkish construction sector 159-171

Merve ERDİK, Yeliz TÜLÜBAŞ GÖKUÇ

Accumulation copper (Cu) in the Halimione portulacoides (L.) Aellen and Suaeda prostrata subsp. prostrata pall. taxa, spreading in Ayvalık saltern (Balıkesir-Turkey)

Ayvalık tuzlasında yayılış gösteren Halimione portulacoides (L.) ve Suaeda prostrata subsp. prostrata pall. taksonlarında bakır (Cu) birikimi (Balıkesir-Türkiye) 172-180

**Güngör AY, Murat KILIÇ, Fatma KOÇBAŞ,
Fatma MÜNGAN KILIÇ**

Çekişmeli üretken ağ modellerinin görüntü üretme performanslarının incelenmesi

Investigation of generative adversarial network models' image generation performance 181-192

Gaffari ÇELİK, Muhammed Fatih TALU

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

A bridge construction from Sheffer stroke basic algebras to MTL-algebras

Sheffer stroke temel cebirlerinden MTL-cebirlerine bir köprü inşası 193-203

İbrahim ŞENTÜRK

Farklı oranlardaki Eu₂O₃—Li₂O—TeO₂ karışımlarının gama radyasyonu yalıtım özelliklerinin Geant4 simülasyon kodu ve WinXCOM veri yazılımı kullanılarak karakterizasyonu

Characterization of gamma radiation shielding properties of different ratios of Eu₂O₃ — Li₂O — TeO₂ mixtures using Geant4 simulation code and WinXCOM software 204-215

Ali AŞKIN, Murat DAL

Türk sofralık yeşil zeytinlerin antioksidan özellikleri üzerine İspanyol yöntemi ile işlemenin etkisi

Influence of Spanish style processing on antioxidant properties of Turkish green table olives 216-227

Elif SAVAŞ

Düşük kütle oranlı iki degen çift yıldızın yörünge dönemi değişimlerinin incelenmesi: V404 Peg ve V619 Peg

Investigation of orbital period variations of two low mass ratio contact binary stars: V404 Peg and V619 Peg 228-239

Burcu ÖZKARDEŞ

Inhibitory effect of garlic extracts on polyphenoloxidase

Sarımsak ekstraktlarının polifenol oksidaz üzerine inhibitör etkisi 240-247

Mehmet Emin DİKEN

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

On new modular sequence space defined over 2-normed spaces

2-normlu uzaylarda tanımlı yeni modular dizi uzayı 248-254

Gülcan ATICI TURAN

Alternative characterizations of some linear combinations of an idempotent matrix and a tripotent matrix that commute

Değişmeli bir idempotent ve bir tripotent matrisin bazı lineer kombinasyonlarının alternatif karakterizasyonları 255-268

Tuğba PETİK, Burak Tufan GÖKMEN

Random number generator based on RF spectrum sensing: energy detector and spectral correlation function approach

RF spektrum algılamasına dayalı rastgele sayı üreticisi: enerji dedektörü ve spektral korelasyon fonksiyonu yaklaşımı 269-280

Ali Rıza EKTİ

Alüminyum-karbon elyaf sandviç kompozit levhaların V-bükme işleminde bükme açılarının ve bükme yönlerinin geri esneme üzerindeki etkisi

Effect of bending angles and bending directions on springback in V-bending of aluminum-carbon fiber sandwich composite plates 281-290

Ali IŞIKTAŞ, Vedat TAŞKIN

Modeling of Duhem hysteresis with Riemann-Liouville fractional derivative

Duhem histeresinin Riemann-Liouville kesirli türevi ile modellenmesi 291-299

Beyza Billur İSKENDER EROĞLU

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

**Multimodal ve unimodal taşımacılık için rota karşılaştırılması:
Hatay-Tekirdağ vaka analizi**

Comparison of routes for multimodal and unimodal transport: Hatay-
Tekirdag case analysis 300-317

Ömer Faruk CANSIZ, Kevser ÜNSALAN

**Balıkesir ilinde semt pazarlarında satışa sunulan yoğurtların fiziko-
kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesinin araştırılması**

Physicochemical and microbiological quality of yogurts sold in locality
bazaar in Balıkesir 318-326

Hakan TAVŞANLI, Mukadderat GÖKMEN, Adem ÖNEN

**Semi-analytical investigation of modified Boussinesq-Burger
equations**

Değiştirilmiş Boussinesq-Burger denklemlerinin yarı analitik incelemesi 327-333

Sinan DENİZ

**EN AW-5754 ve EN AW-5083 alüminyum alaşımlarının sürtünme
karıştırma kaynağı ile birleştirilmelerinde kullanılan farklı takım
geometrilerinin kaynaklı birleştirmeye etkilerinin araştırılması**

Investigation of the effects of different tool geometries on welded
joining of EN AW-5754 and EN AW-5083 aluminum alloys with
friction stir welding 334-344

Fatmagül TOLUN

**On third-order fuzzy differential equations by fuzzy Laplace
transform**

Fuzzy Laplace dönüşümüyle üçüncü-mertebe fuzzy diferansiyel
denklemler üzerine 345-353

Hülya GÜLTEKİN ÇİTİL

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Betonarme kolonların eşdeğer akma eğriliği için önerilen pratik bağıntıların irdelenmesi

Investigation of practical equations for equivalent yield curvature of reinforcement concrete columns 354-366

Umut HASGÜL

Algoritma yazma ve öğrenimi hakkında meslek yüksekokulu öğrencilerinin görüşleri

Opinions of vocational school students about algorithm writing and learning 367-380

Ahmet AKKAYA, Gülcan ÖZTÜRK

A study on nonsymmetric cone normed spaces

Simetrik olmayan konik normlu uzaylar üzerine bir çalışma 381-392

Merve İLKHAN

Numerical analysis for coupled systems of two-dimensional time-space fractional Schrödinger equations with trapping potentials

Betül HİÇDURMAZ*

*Istanbul Medeniyet University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Mathematics, Uskudar, Istanbul*

Geliş Tarihi (Received Date): 01.03.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.12.2019

Abstract

In this study general and classical coupled systems of nonlinear time-space fractional Schrödinger equations (TSFSDE) with trapping potentials are investigated with a numerical approach. Theorems on stability of the finite difference schemes for such problems are established and presented with their proofs. Numerical solutions are investigated for one and two-dimensional cases. Convergence rates are proved by numerical experiments. Effect of a trapping potential on such systems is searched throughout the paper.

Keywords: *Coupled system, trapping potential, finite difference method.*

Tuzaklama potansiyelli iki-boyutlu zaman-yer kesirli türevli Schrödinger denklemlerinin bağlı sistemlerinin sayısal analizi

Öz

Bu çalışmada zaman ve yer boyutlarında kesirli türevli Schrödinger diferansiyel denklemlerinin bağlı sistemlerinin genel ve klasik formları tuzaklama potansiyeli altında sayısal bir yaklaşımla ele alınmıştır. Bu tip problemlerin fark şemalarının kararlılıkları üzerine teoremler kurulmuş ve ispatlarıyla sunulmuştur. Sayısal sonuçlar tek ve iki boyutlu durumlar için incelenmiştir. Yaklaşım mertebeleri sayısal deneylerle ispatlanmıştır. Çalışma boyunca tuzaklama potansiyelinin bu tip sistemler üzerine etkisi araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Bağlı sistem, tuzaklama potansiyeli, sonlu farklar metodu.*

* Betül HİÇDURMAZ, betul.hicdurmaz@medeniyet.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6797-246X>

1. Introduction

Fractional Schrödinger differential equations in general form are analyzed with different techniques throughout the literature (see [1]-[6]). Presented problems differ according to the variable where fractional order derivative appears. In the present paper a coupled system of time fractional Schrödinger equations will be pointed out. The problem will be considered in both classical and general forms. General form of the model is able to include terms representing the four wave mixing effect as [7]

$$\begin{aligned} iD_{0,t}^{\alpha}u + \frac{\partial^{\beta_1}u}{\partial|x|^{\beta_1}} + \frac{\partial^{\beta_2}u}{\partial|y|^{\beta_2}} + 2(a|u|^2 + c|v|^2 + bu\bar{v} + \bar{b}u\bar{v})u + V(x,y)u &= f(t,x), \\ iD_{0,t}^{\alpha}v + \frac{\partial^{\beta_1}v}{\partial|x|^{\beta_1}} + \frac{\partial^{\beta_2}v}{\partial|y|^{\beta_2}} + 2(a|u|^2 + c|v|^2 + bu\bar{v} + \bar{b}u\bar{v})v + V(x,y)v &= g(t,x). \end{aligned} \quad (1)$$

Here, a and c are real constants scaling self-phase modulation and cross-phase modulation respectively, whereas complex constant b denotes four wave mixing effect [8] and $V(x,y)$ is a real valued trapping potential. The four-wave mixing effect can be defined as an inter modulation phenomenon in nonlinear optics, whereby the interactions between the two or three wavelengths produce one or two new wavelengths [9].

Here, it may be useful to remind that the classical form is presented like that:

$$\begin{aligned} iD_{0,t}^{\alpha}u + \frac{\partial^{\beta_1}u}{\partial|x|^{\beta_1}} + \frac{\partial^{\beta_2}u}{\partial|y|^{\beta_2}} + 2(a|u|^2 + c|v|^2)u + V(x,y)u &= p(t,x), \\ iD_{0,t}^{\alpha}v + \frac{\partial^{\beta_1}v}{\partial|x|^{\beta_1}} + \frac{\partial^{\beta_2}v}{\partial|y|^{\beta_2}} + 2(a|u|^2 + c|v|^2)v + V(x,y)v &= q(t,x). \end{aligned}$$

For both cases, we consider the trapping potential V as a time-independent potential. Physical properties for a trapping potential can be seen in [10] with more detail.

These equations are studied by Fractional Reduced Differential Transformation, Homotopy Analysis Method, Reduced Differential Transform Method in [11-13]. In [14], general coupled systems of time fractional Schrödinger equations are considered with both theoretical and numerical approaches.

Numerical methods which are listed above lack the stability properties. Classical methods are more advantageous at this point with providing stable difference schemes for many problems. Finite difference method is not studied extensively in these type of problems. This paper will fill a gap by presenting stable difference schemes for Coupled Systems of Two-Dimensional Time-Space Fractional Schrödinger Equations with Trapping Potentials.

Furthermore, [15-17] search and present the results on the dynamics and decoherence of fractional Schrödinger equations with trapping potential.

To remind some important terms, we will give definition for Riemann-Liouville fractional derivative with order $\alpha \in (0,1)$ as

$${}_c D_{0,t}^\alpha u(t,x) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t (t-s)^{-\alpha} u_s(s,x) ds.$$

whereas the spatial fractional derivatives are Riesz type as

$$\frac{\partial^\beta u(t,x)}{\partial |x|^\beta} = -\frac{1}{2 \cos(\pi\beta / 2)} \left({}_{RL} D_{a,x}^\beta u(t,x) + {}_{RL} D_{x,b}^\beta u(t,x) \right),$$

where ${}_{RL} D_{a,x}^\beta u(t,x)$ and ${}_{RL} D_{x,b}^\beta u(t,x)$ are left and right Riemann-Liouville derivatives. We can use the term Caputo fractional derivative instead of Riemann-Liouville time fractional derivative in the case of homogeneous initial condition.

Paper is organized as follows: First section is introduction. Second section is on theoretical findings for the most general case which is general coupled system of TSFSDs with a trapping potential in two dimensional case. Third section is on numerical analysis for four different cases of the general problem which is considered in second section. Fourth section is conclusion.

2. Theoretical findings

In the present section, we will present the difference scheme for a two dimensional mixed problem for general coupled systems of time-space fractional Schrödinger equations with the required theoretical analysis. Due to the fact that the theoretical findings can easily be extended to m -dimensional case. A two dimensional problem for general coupled systems of time-space fractional Schrödinger equations can be given with mixed conditions as:

$$\begin{aligned} i \frac{\partial^\alpha u(t,x,y)}{\partial t^\alpha} &= -\frac{\partial^{\beta_1} u(t,x,y)}{\partial |x|^{\beta_1}} - \frac{\partial^{\beta_2} u(t,x,y)}{\partial |y|^{\beta_2}} + f(t,x,y) - 2 \left(a |u(t,x,y)|^2 + c |v(t,x,y)|^2 \right. \\ &\quad \left. + bu(t,x,y) \overline{v(t,x,y)} + \bar{b} v(t,x,y) \overline{u(t,x,y)} \right) u(t,x,y) - V(x,y) u(t,x,y), \\ i \frac{\partial^\alpha v(t,x,y)}{\partial t^\alpha} &= -\frac{\partial^{\beta_1} v(t,x,y)}{\partial |x|^{\beta_1}} - \frac{\partial^{\beta_2} v(t,x,y)}{\partial |y|^{\beta_2}} + g(t,x,y) - 2 \left(a |u(t,x,y)|^2 + c |v(t,x,y)|^2 \right. \\ &\quad \left. + bu(t,x,y) \overline{v(t,x,y)} + \bar{b} v(t,x,y) \overline{u(t,x,y)} \right) v(t,x,y) - V(x,y) v(t,x,y), \end{aligned} \tag{1}$$

$$x \in (0,1), y \in (0,1), t \in (0,1), u(0,x,y) = u_0(x,y), v(0,x,y) = v_0(x,y), x \in (0,1),$$

$$u(t,0,y) = u(t,1,y) = v(t,0,y) = v(t,1,y) = 0, t \in (0,1), y \in (0,1),$$

$$u(t,x,0) = u(t,x,1) = v(t,x,0) = v(t,x,1) = 0, t \in (0,1), x \in (0,1).$$

Then, problem (1) has a unique $\{u, v\}$ solution in space of all continuous functions [18]: $C([0, T], L^2(\Omega))$.

To carry out the time discretization for problems above, the grid set $[0, T]_\tau = \{t = t_k = k\tau, k = 0, 1, \dots, N, \tau = T / N\}$

is considered. Space discretization is provided by introduction of the grid set:

$$\bar{\Omega}_h = \{x = x_j = (h_1 j_1, \dots, h_m j_m), j = (j_1, j_2, \dots, j_m), 0 \leq j_r \leq M_r, h_r M_r = 1, r = 1, \dots, m\}$$

where $\Omega_h = \bar{\Omega}_h \cap \Omega, S_h = \bar{\Omega}_h \cap S$.

Throughout the paper, step size quantities M_r are considered equal for every dimension as $M_r = M$ for $r \in \{1, 2, \dots, m\}$. So, h_r step sizes are also equal as $h_r = h = 1/M$ for every $r \in \{1, 2, \dots, m\}$. Here, $m=2$ is the dimension of space variable \vec{x} .

Prior to the discretization of problem (1), we introduce the $L^2_h(\Omega) = L^2(\bar{\Omega})$ space for the grid functions $\phi_h(x) \in \bar{\Omega}_h$ with the norm

$$\|\phi_h(x)\|_{L^2_h(\Omega)} = \left(\sum_{x \in \bar{\Omega}_h} |\phi_h(x)|^2 h_1 \dots h_m \right)^{1/2}.$$

Here, we implement discretization formulas in [14] to obtain a $O(\tau + h^2)$ order of accurate difference scheme.

Using following formula from [19]

$${}_c D_{0,t}^\alpha u(t, x) = \frac{1}{\tau^\alpha} \sum_{k=0}^k \eta_{k-m} (u^m - u^{m-1}) + O(\tau)$$

where $u_0 = 0, \eta_m = \frac{\Gamma(m - \alpha + 1)}{m! \Gamma(1 - \alpha)}, m = 0, 1, 2, \dots, k + 1$ and

$$\eta_i = \frac{i - \alpha}{i} \eta_{i-1}, i \geq 1, 1 = \eta_0 > \eta_1 > \eta_2 > \dots > \eta_k > 0 \text{ and } \eta_k \rightarrow 0 \text{ as } k \rightarrow 0$$

with the approximation which is presented for fractional spacial derivative in [20] as

$$\frac{\partial^\beta u(t, x)}{\partial |x|^\beta} = \frac{1}{h^\beta} \sum_{i=1}^{M-1} c_{j-i} u_i^{k+1} + O(h^2)$$

where

$$w_0^\beta = (\beta / 2) g_0, w_k^\beta = (\beta / 2) g_k + ((2 - \beta) / 2) g_{k-1}, k \geq 1,$$

$$g_0^\beta = 1, g_k^\beta = (1 - (\beta + 1) / k) g_{k-1}^\beta, k \geq 1,$$

we can construct the implicit difference scheme as

$$\begin{aligned}
 i\tau^{-\alpha} \sum_{m=0}^{k+1} \eta_{k+1-m} (u_{j,q}^m - u_{j,q}^{m-1}) &= \sum_{l=1}^{M-1} \frac{c_{j-l}^1}{h^{\beta_1}} u_{j,q}^{k+1} + \sum_{l=1}^{M-1} \frac{c_{q-l}^2}{h^{\beta_1}} u_{j,q}^{k+1} \\
 -2 \left(|v_{j,q}^{k+1}|^2 + |u_{j,q}^{k+1}|^2 + u_{j,q}^{k+1} \bar{v}_{j,q}^{-k+1} + v_{j,q}^{k+1} \bar{u}_{j,q}^{-k+1} \right) u_{j,q}^{k+1} &- V_{j,q}^{k+1} u_{j,q}^{k+1} \\
 i\tau^{-\alpha} \sum_{m=0}^{k+1} \eta_{k+1-m} (v_{j,q}^m - v_{j,q}^{m-1}) &= \sum_{l=1}^{M-1} \frac{c_{j-l}^1}{h^{\beta_1}} v_{j,q}^{k+1} + \sum_{l=1}^{M-1} \frac{c_{q-l}^2}{h^{\beta_1}} v_{j,q}^{k+1} \\
 -2 \left(|v_{j,q}^{k+1}|^2 + |u_{j,q}^{k+1}|^2 + u_{j,q}^{k+1} \bar{v}_{j,q}^{-k+1} + v_{j,q}^{k+1} \bar{u}_{j,q}^{-k+1} \right) v_{j,q}^{k+1} &- V_{j,q}^{k+1} u_{j,q}^{k+1}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$1 \leq j, q \leq M-1, 0 \leq k \leq N-1,$$

$$u_{j,k}^0 = 0, v_{j,k}^0 = 0, 1 \leq j, q \leq M-1,$$

$$u_{j,0}^k = u_{j,M}^k = 0, v_{j,0}^k = v_{j,M}^k = 0, 1 \leq j \leq M-1, 0 \leq k \leq N,$$

$$u_{0,q}^k = u_{M,q}^k = 0, v_{0,q}^k = v_{M,q}^k = 0, 1 \leq q \leq M-1, 0 \leq k \leq N.$$

Theorem 1. The finite difference scheme (2) is convergent with the order of accuracy $O(\tau + h^2)$.

Proof. If the truncation error is z_k , then

$$\begin{aligned}
 z_k &= i\tau^{-\alpha} \sum_{m=0}^{k+1} \eta_{k+1-m} (u_{j,q}^m - u_{j,q}^{m-1}) - i \frac{\partial^\alpha u(t_k, x_j, y_q)}{\partial t^\alpha} + \sum_{l=1}^{M-1} \frac{c_{j-l}^1}{h^{\beta_1}} u_{j,q}^{k+1} - \frac{\partial^{\beta_1} u(t_k, x_j, y_q)}{\partial |x|^{\beta_1}} \\
 &+ \sum_{l=1}^{M-1} \frac{c_{q-l}^2}{h^{\beta_2}} u_{j,q}^{k+1} - \frac{\partial^{\beta_2} u(t_k, x_j, y_q)}{\partial |x|^{\beta_2}} + 2 \left(|v_{j,q}^{k+1}|^2 + |u_{j,q}^{k+1}|^2 + u_{j,q}^{k+1} \bar{v}_{j,q}^{-k+1} + v_{j,q}^{k+1} \bar{u}_{j,q}^{-k+1} \right) u_{j,q}^{k+1} \\
 &- 2 \left(|u(t_k, x_j, y_q)|^2 + |v(t_k, x_j, y_q)|^2 + u(t_k, x_j, y_q) \overline{v(t_k, x_j, y_q)} + v(t_k, x_j, y_q) \overline{u(t_k, x_j, y_q)} \right) \\
 &+ V(t_k, x_j, y_q) (u_{j,q}^{k+1} - u(t_k, x_j, y_q)) \\
 &= O(\tau + h^2).
 \end{aligned}$$

This will be repeated for the second part of the coupled system (2). So, this is the end of the proof.

Theorem 2. The finite difference scheme (2) is unconditionally stable.

Proof. Using a similar procedure with [14], we get

$$\text{Im} \left\langle \sum_{l=1}^{M-1} \frac{c_{j-l}^1}{h^{\beta_1}} u_{j,q}^{k+1} + \sum_{l=1}^{M-1} \frac{c_{q-l}^2}{h^{\beta_2}} u_{j,q}^{k+1}, u_{j,q}^{k+1} \right\rangle = 0.$$

Then, we get inner product of equations in (2) with $u_{j,q}^{k+1}$. When we consider imaginary part of the established equation and induction method, we get

$$\|u_{j,q}^{k+1}\|^2 \leq \|u_{j,q}^1\|^2 \quad \text{and} \quad \|v_{j,q}^{k+1}\|^2 \leq \|v_{j,q}^1\|^2.$$

Then, these formulas constitute the proof of the stability for difference scheme (2). Following the same procedure one can construct the difference schemes and prove the stability and convergence theorems for m -dimensional case of problem (1) for any positive integer m .

3. Numerical Analysis

In the present part, one/two dimensional general/classical coupled systems of time-space fractional Schrödinger equations with trapping potentials will be investigated numerically.

3.1. Two-dimensional general TSFSDE

Two-dimensional problem for general coupled systems of time-space fractional Schrödinger equations can be stated as

$$\begin{aligned} i \frac{\partial^\alpha u}{\partial t^\alpha} &= -\frac{\partial^{\beta_1} u}{\partial |x|^{\beta_1}} - \frac{\partial^{\beta_2} u}{\partial |y|^{\beta_2}} - \left(|u|^2 + |v|^2 + bu\bar{v} + \bar{b}v\bar{u} \right) u + g_1(t, x, y) - (1 - \sin^2 x \sin^2 y)u, \\ i \frac{\partial^\alpha v}{\partial t^\alpha} &= -\frac{\partial^{\beta_1} v}{\partial |x|^{\beta_1}} - \frac{\partial^{\beta_2} v}{\partial |y|^{\beta_2}} - \left(|u|^2 + |v|^2 + bu\bar{v} + \bar{b}v\bar{u} \right) v + g_2(t, x, y) - (1 - \sin^2 x \sin^2 y)v, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} 0 < x < L, 0 < t < 1, \\ u(0, x) = 0, v(0, x) = 0, 0 < x < L, \\ u(t, 0, y) = u(t, 1, y) = 0, \\ v(t, 0, y) = v(t, 1, y) = 0, 0 < t < 1, 0 < y < 1, \\ u(t, x, 0) = u(t, x, 1) = 0, \\ v(t, x, 0) = v(t, x, 1) = 0, 0 < t < 1, 0 < x < 1. \end{aligned}$$

Here,

$$u = (1+i)(t^3)x^2(1-x)^2y^2(1-y)^2, \quad v = i(t^4)x^2(1-x)^2y^2(1-y)^2.$$

Moreover, we define

$$\begin{aligned} g_1(t, x, y) &= (i-1) \frac{\Gamma(4)}{\Gamma(4-\alpha)} t^{3-\alpha} x^2(1-x)^2 y^2(1-y)^2 \\ &+ \left((1+i)t^3 x^2(1-x)^2 \right)^3 y^2(1-y)^2 - \frac{(1+i)t^3 x^{-\beta_1} y^2(1-y)^2 12x^2}{\Gamma(5-\beta_1)} \\ &+ \frac{(1-x)^2 x^{\beta_1} \sec\left(\frac{\pi\beta_1}{2}\right)}{(1-x)^{\beta_1}} (-6x\beta_1 - \beta_1 + \beta_1^2) + x^2(12(1-x)^2 - 7\beta_1 + 6x\beta_1 + \beta_1^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{(1+i)t^3 y^{-\beta_2} x^2 (1-x)^2}{\Gamma(5-\beta_2)} \left(\frac{(1-y)^2 y^{\beta_2} 12y^2}{(1-y)^{\beta_2}} \right. \\
 & + \frac{(1-y)^2 y^{\beta_2} \sec\left(\frac{\pi\beta_2}{2}\right)}{(1-y)^{\beta_2}} (-6y\beta_2 - \beta_2 + \beta_2^2) + y^2 (12(1-y)^2 - 7\beta_2 + 6y\beta_2 + \beta_2^2) \\
 & \left. - (1 - \sin^2 x \sin^2 x)(1+i)(t^3)x^2(1-x)^2 y^2(1-y)^2 \right)
 \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
 g_2(t, x, y) = & -\frac{\Gamma(5)}{\Gamma(5-\alpha)} t^{4-\alpha} x^2 (1-x)^2 y^2 (1-y)^2 + (it^3 x^2 (1-x)^2)^3 y^2 (1-y)^2 \\
 & -\frac{it^4 x^{-\beta_1} y^2 (1-y)^2}{\Gamma(5-\beta_1)} \left(\frac{(1-x)^2 x^{\beta_1} 12x^2}{(1-x)^{\beta_1}} + \frac{(1-x)^2 x^{\beta_1} \sec\left(\frac{\pi\beta_1}{2}\right)}{(1-x)^{\beta_1}} (-6x\beta_1 - \beta_1 + \beta_1^2) \right. \\
 & \left. + x^2 (12(1-x)^2 - 7\beta_1 + 6x\beta_1 + \beta_1^2) \right) - \frac{it^4 y^{-\beta_2} x^2 (1-x)^2 \sec\left(\frac{\pi\beta_2}{2}\right)}{\Gamma(5-\beta_2)} \left(\frac{(1-y)^2 y^{\beta_2} 12y^2}{(1-y)^{\beta_2}} \right. \\
 & \left. + \frac{(1-y)^2 y^{\beta_2}}{(1-y)^{\beta_2}} (-6y\beta_2 - \beta_2 + \beta_2^2) + y^2 (12(1-y)^2 - 7\beta_2 + 6y\beta_2 + \beta_2^2) \right) \\
 & - (1 - \sin^2 x \sin^2 x) i (t^4) x^2 (1-x)^2 y^2 (1-y)^2.
 \end{aligned}$$

Lastly, difference scheme (2) is implemented on problem (3) and the errors of numerical experiments are presented in Tables 1 and 2. Throughout the paper, errors are computed by the following maximum norm formula which can be given for two dimensional case as:

$$E = \max_{0 \leq k \leq N} \left(\max_{0 \leq j, q \leq M} |u_{j,q}^k| \right)$$

Convergence rates (C) are also computed and presented. Throughout the paper, h denotes the equal step length for all dimensions of the m -dimensional spatial variables. To get the solutions of problem, we convert the problem into a system of matrices and we use MATLAB. Throughout the experiments for implicit difference schemes, iterations start with $u_{j,q}^0 = 0$ and terminate when the error between each iteration becomes less than 10^{-7} in the given norm. Numerical analysis supports that theoretical findings are applicable and the convergence rates are valid when difference scheme (2) is applied on two dimensional general coupled systems of time-space fractional Schrödinger problem with a trapping potential (3).

Table 1. Errors of difference scheme (2) for problem (3) when $N=100$.

α	β_1	β_2	M	E	C
0.20	1.70	1.50	4	1.4972×10^{-3}	1.97
			8	3.8157×10^{-4}	1.77
			16	1.1158×10^{-4}	-
α	β_1	β_2	N	E	C
0.70	1.20	1.70	4	1.4586×10^{-3}	1.96

			8	3.47618×10^{-4}	1.72
			16	1.1400×10^{-4}	-
α	β_1	β_2	N	E	C
0.50	1.50	1.50	4	1.4944×10^{-3}	1.97
			8	3.8266×10^{-4}	1.74
			16	1.1491×10^{-4}	-

Table 2. Errors of difference scheme (2) for problem (3) when M=80.

α	β_1	β_2	N	E	C
0.50	1.25	1.50	4	6.2474×10^{-5}	0.94
			8	3.2574×10^{-5}	0.95
			16	1.6837×10^{-5}	0.92
			32	8.8981×10^{-6}	-

3.2. Two-dimensional classical TSFSDE

Two dimensional problem for classical coupled systems of time-space fractional Schrödinger equations can be given as

$$i \frac{\partial^\alpha u}{\partial t^\alpha} = -\frac{\partial^{\beta_1} u}{\partial |x|^{\beta_1}} - \frac{\partial^{\beta_2} u}{\partial |y|^{\beta_2}} - (|u|^2 + |v|^2)u + g_1(t, x, y) - (1 - \sin^2 x \sin^2 y)u,$$

$$i \frac{\partial^\alpha v}{\partial t^\alpha} = -\frac{\partial^{\beta_1} v}{\partial |x|^{\beta_1}} - \frac{\partial^{\beta_2} v}{\partial |y|^{\beta_2}} - (|u|^2 + |v|^2)v + g_2(t, x, y) - (1 - \sin^2 x \sin^2 y)v,$$

$$0 < x < L, 0 < t < 1, \tag{4}$$

$$u(0, x) = 0, v(0, x) = 0, 0 < x < L, u(t, 0, y) = u(t, 1, y) = 0,$$

$$v(t, 0, y) = v(t, 1, y) = 0, 0 < t < 1, 0 < y < 1,$$

$$u(t, x, 0) = u(t, x, 1) = 0, 0 < t < 1, 0 < x < 1,$$

$$v(t, x, 0) = v(t, x, 1) = 0, 0 < t < 1, 0 < x < 1.$$

Here,

$$u = (1+i)(t^3)x^2(1-x)^2y^2(1-y)^2, \quad v = i(t^4)x^2(1-x)^2y^2(1-y)^2.$$

Lastly, difference scheme (2) is implemented on problem (4). Total maximum errors and convergence rates are presented in Tables 3.

Table 3. Errors of difference scheme (2) for problem (4) when N=100.

α	β_1	β_2	M	E	C
0.50	1.25	1.50	4	1.4643×10^{-3}	1.95
			8	3.7923×10^{-4}	1.70
			16	1.1882×10^{-4}	-

3.3. One-dimensional general TSFSD

In the present section, we present the following general coupled system of one dimensional TSFSD with a trapping potential. Here, we consider the exact solution as

$$u = (1+i)(t^3)x^2(1-x)^2, \quad v = i(t^4)x^2(1-x)^2.$$

A one dimensional mixed problem for general coupled systems of time-space fractional Schrödinger equations can be stated as

$$\begin{aligned} i \frac{\partial^\alpha u}{\partial t^\alpha} &= -\frac{\partial^\beta u}{\partial |x|^\beta} - (|u|^2 + |v|^2 + bu\bar{v} + \bar{b}v\bar{u})u - \cos^2 xu + f_1(t, x), \\ i \frac{\partial^\alpha v}{\partial t^\alpha} &= -\frac{\partial^\beta v}{\partial |x|^\beta} - (|u|^2 + |v|^2 + bu\bar{v} + \bar{b}v\bar{u})v - \cos^2 xv + f_2(t, x) \end{aligned} \tag{5}$$

$$0 < x < L, 0 < t < 1,$$

$$u(0, x) = 0, v(0, x) = 0, \quad 0 < x < L,$$

$$u(t, 0) = u(t, 1) = 0, \quad v(t, 0) = v(t, 1) = 0, \quad 0 < t < 1$$

where

$$\begin{aligned} f_1(t, x) &= (i-1) \frac{\Gamma(4)}{\Gamma(4-\alpha)} t^{3-\alpha} x^2 (1-x)^2 + ((1+i)t^3 x^2 (1-x)^2)^3 \\ &- \frac{(1+i)t^3 x^{-\beta} \sec\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma(5-\beta)} \left(\frac{(1-x)^2 x^\beta 12x^2}{(1-x)^\beta} + \frac{(1-x)^2 x^\beta}{(1-x)^\beta} (-6x\beta - \beta + \beta^2) \right) \\ &+ x^2 (12(1-x)^2 - 7\beta + 6x\beta + \beta^2) - \cos^2 x (1+i)(t^3)x^2(1-x)^2 \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} f_2(t, x) &= -\frac{\Gamma(5)}{\Gamma(5-\alpha)} t^{4-\alpha} x^2 (1-x)^2 + (it^4 x^2 (1-x)^2)^3 \\ &- \frac{it^4 x^{-\beta} \sec\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma(5-\beta)} \left(\frac{(1-x)^2 x^\beta 12x^2}{(1-x)^\beta} + \frac{(1-x)^2 x^\beta}{(1-x)^\beta} (-6x\beta - \beta + \beta^2) \right) \\ &+ x^2 (12(1-x)^2 - 7\beta + 6x\beta + \beta^2) - i \cos^2 x (t^4)x^2(1-x)^2 \end{aligned}$$

Problem (5) is solved by difference scheme (2) and Tables 4 and 5 are constructed for the obtained errors. This experiment shows that the obtained theoretical results for difference scheme (2) are valid when $m=1$.

Table 4. Errors of difference scheme (2) for problem (5) when N=1000.

α	β	M	E	C
0.70	1.50	4	2.5122×10^{-2}	2.05
		8	6.0407×10^{-3}	2.06
		16	1.4422×10^{-3}	2.07
		32	3.4166×10^{-5}	-

Table 5. Errors of difference scheme (2) for problem (5) when M=1000.

α	β	N	E	C
0.70	1.50	10	3.9424×10^{-3}	0.96
		20	2.0324×10^{-3}	0.98
		40	1.0322×10^{-3}	0.99
		80	5.2022×10^{-4}	-

3.4. One-dimensional classical TSFSDE

In the present section, we present the following classical coupled system of one dimensional TSFSDE with a trapping potential with the following exact solution:

$$u = (1+i)(t^3)x^2(1-x)^2, v = i(t^4)x^2(1-x)^2.$$

The following mixed problem for classical coupled systems of TSFSDE will be considered:

$$i \frac{\partial^\alpha u}{\partial t^\alpha} = -\frac{\partial^\beta u}{\partial |x|^\beta} - (|u|^2 + |v|^2)u - \cos^2 xu + f_1(t, x),$$

$$i \frac{\partial^\alpha v}{\partial t^\alpha} = -\frac{\partial^\beta v}{\partial |x|^\beta} - (|u|^2 + |v|^2)v - \cos^2 xv + f_2(t, x),$$

$$0 < x < L, 0 < t < 1,$$

$$u(0, x) = 0, v(0, x) = 0, 0 < x < L, \tag{6}$$

$$u(t, 0) = u(t, 1) = 0, v(t, 0) = v(t, 1) = 0, 0 < t < 1$$

Problem (6) is solved by difference scheme (2) and Tables 6 and 7 are constructed for the obtained errors.

Table 6. Errors of difference scheme (2) for problem (5) when N=1000.

α	β	M	E	C
0.70	1.50	4	2.5059×10^{-2}	2.05
		8	6.0290×10^{-3}	2.06
		16	1.4396×10^{-3}	2.07
		32	3.4105×10^{-4}	-

Table 7. Errors of difference scheme (2) for problem (5) when M=100.

α	β	N	E	C
0.70	1.50	4	9.0170×10^{-3}	0.90
		8	4.8486×10^{-3}	0.95
		16	2.5178×10^{-3}	0.97
		32	1.2834×10^{-3}	0.99
		64	6.4800×10^{-4}	-

4. Conclusion

In the present paper, finite difference scheme is constructed for multi-dimensional general coupled systems of time-space fractional Schrödinger equations with a trapping potential. Numerical results in error analysis table prove that the constructed difference schemes have accurately the same convergence rate which is proved in convergence and stability theorems. Space variable discretization has second order convergence and time variable discretization has convergence rate which is approximately one.

Convergence and stability theorems are presented theoretically. Obtained theoretical results are supported by numerical experiments on one and two dimensional general and classical coupled systems of time-space fractional Schrödinger equations with trapping potentials.

References

- [1] Lü, X. and Peng, M., Painlevé-integrability and explicit solutions of the general two-coupled nonlinear Schrödinger system in the optical fiber communications, **Nonlinear Dynamics**, 73, 405-410, (2013).
- [2] Wang, D. S., Zhang, D. J. and Yang, J., Integrable properties of the general coupled nonlinear Schrödinger equations, **Journal of Mathematical Physics**, 51, Article ID 023510, (2010).
- [3] Ding, H.F., Li, C.P. and Chen, Y.Q., High-order algorithms for Riesz derivative and their applications, **Abstract and Applied Analysis**, 653797, 19-55, (2014).
- [4] Hicdurmaz B. and Ashyralyev, A., On the stability of time-fractional Schrödinger differential equations, **Numerical Functional Analysis and Optimization**, 38, 1215-1225, (2017).
- [5] Wang, D., Xiao, A. and Yang, W. , A linearly implicit con-servative difference scheme for the space fractional coupled nonlinear Schrödinger equations, **Journal of Computational Physics**, 272, 644-655 (2014).
- [6] Garrappa, R., Moret, I. and Popolizio, M., On the time-fractional Schrödinger equation: theoretical analysis and numerical solution by matrix Mittag-Leffler functions, **Computers and Mathematics with Applications**, 74, 977-992 (2017).
- [7] Antoine, X., Besse, C, and Klein, P., Absorbing boundary conditions for general nonlinear Schrödinger equations, **SIAM Journal on Scientific Computing**, 33, 1008-1033, (2011).
- [8] Yuan, Y. Q., Tian, B., Liu, L. and Sun, Y., Bright-dark solitons for a set of the general coupled nonlinear Schrödinger equations in a birefringent fiber, **Europhysics Letters**, 120, 30001, 1-5, (2017).
- [9] Ashyralyev A. and Sirma, A., A note on the numerical solution of the semilinear Schrödinger equation, **Nonlinear Analysis: Theory, Methods and Applications**, 71, 12, 2507-2516, (2009).
- [10] Al-Hashimi, N.H.N. and Ghalib, S. K., Theoretical analysis of different external trapping potential used in experimental of BEC, **IOSR Journal of Engineering**, 2, 11, 1-5, (2012).
- [11] Hamed, S. H. M., Yousif, E. A. and Arbab, A. I., Analytic and approximate solutions of the space-time fractional Schrödinger equations by homotopy

- perturbation Sumudu transform method, **Abstract and Applied Analysis**, 2014, 863015, 1-13, (2014).
- [12] Khan, N. A., Jamil M., and Ara, A., Approximate solutions to time-fractional Schrödinger equation via homotopy analysis method, **ISRN Mathematical Physics**, 2012, 197068, 1-11, (2012).
- [13] Taghizadeh, N., Noori S. R. M., Exact solutions of the cubic nonlinear Schrödinger equation with a trapping potential by reduced differential transform method, **Mathematical Scientific Letters**, 5, 3, 297-302, (2016).
- [14] Hicdurmaz, B., Multidimensional problems for general coupled systems of time-space fractional Schrödinger equations, **Journal of Coupled Systems and Multiscale Dynamics**, 6, 147-153 (2018)
- [15] Antoine, X., Tang, Q., and Zhang, Y., On the ground states and dynamics of space fractional nonlinear Schrödinger/Gross–Pitaevskii equations with rotation term and nonlocal nonlinear interactions, **Journal of Computational Physics**, 325, 74-97, (2016).
- [16] Kirkpatrick, K., Zhang, Y., Fractional Schrödinger dynamics and decoherence, **Physica D: Nonlinear Phenomena**, 332, 41-54, (2016).
- [17] Wang, M., Shan, W. R., Lü, X., Xue, Y.S., Lin, Z.Q. and Tian B., Soliton collision in a general coupled nonlinear Schrödinger system via symbolic computation, **Applied Mathematics and Computation** 219, 11258-11264, (2013).
- [18] Liu, Q., Zeng, F. and Li, C., Finite difference method for time-space-fractional Schrödinger equation, **International Journal of Computer Mathematics**, 92, 7, 1439-1451, (2015).
- [19] Ashyralyev A., A note on fractional derivatives and fractional powers of operators, **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, 357, 232-236, (2009).
- [20] Tian, W.Y., Zhou, H. and Deng W.H., A class of second order difference approximation for solving space fractional diffusion equations, **Mathematics of Computation**, 84, 1703-1727, (2015).

PON1 enzimi üzerine DT-15-Crown-5 taç eterinin etkisinin araştırılması

Adem ERGÜN^{1,*}, Baki ÇİÇEK²

¹Balıkesir Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Çağış kampüsü, Balıkesir

²Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Çağış kampüsü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 25.09.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.12.2019

Öz

İnsan serum paraoksonaz 1 (PON1, EC3.1.8.1) HDL'ye bağlı olan, aktif bölgesinde kalsiyum içeren, organofosfat ajanlarını ve sinir gazlarını hidroliz eden, LDL'nin oksidasyonu ile lipid peroksitlerin oluşumuna ve bakteri endotoksinlerine karşı koruyucu etkisi olan önemli bir karaciğer enzimidir. Çalışmamızda, PON1 enzimi daha önceden sentezi yapılmış, sepharose-4B-L-tirosin-1-naftilamin jeli kullanılarak hidrofobik etkileşim kromatografisi ile tamamen saflaştırılmıştır. Enzimin saflık kontrolü de SDS – PAGE ile yapılmıştır. İnhibisyon ajanı olarak kullanılmak üzere 7,13-dithio-1,4,10-trioksasiklopentadekan (DT-15-Crown-5) tiyo taç eteri S_N^2 mekanizmasına göre halka kapama reaksiyonu sonucunda sentezlendi. DT-15-Crown-5'in paraoksanaz enzimi üzerinde kuvvetli inhibisyon etkisi gözlemlendi. DT-Taçeterin PON1 ile inhibisyon değeri (IC_{50}) 22,62 μM olarak tespit edildi.

Anahtar kelimeler: Tiyo taç eter, paraoksanaz (PON), inhibisyon, hidrofobik etkileşim kromatografisi.

Investigation of the effect of DT-15-Crown-5 crown ether on PON1 enzyme

Abstract

Human serum paraoxonase 1 (PON1, EC3.1.8.1) is an important liver enzyme which is bound to HDL, contains calcium in its active site, hydrolyses organophosphate agents and nerve gases, has protective effect against the formation of lipid peroxides by oxidation of LDL and bacterial endotoxins. In our study, in order to purify the enzyme PON1, it was purified by hydrophobic interaction chromatography using sepharose-4B-

* Adem ERGÜN, ademergun@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-4647-6058>

Baki ÇİÇEK, bcicek@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-1257-1188>

L-tyrosine-1-naphthylamine gel. The purity of the enzyme was also checked by SDS - PAGE. 7,13-Dithio-1,4,10-trioxacyclopentadecane (DT-15-Crown-5) thio crown ether was synthesized as a result of the ring closure reaction according to the S_N^2 mechanism to be used as an inhibiting agent. Strong inhibition effect of DT-15-Crown-5 on paraoxanase enzyme was observed. Inhibition value (IC_{50}) of DT-Taçeter with PON1 was determined as 22.62 μM .

Keywords: Thiocrown ether, paraoxanase (PON), inhibition, hydrophobic interaction chromatography.

1. Giriş

Lipitlerin metabolik reaksiyonlarında oldukça etkili olan paraoksonaz enzimi (PON) (E.C. 3.1.8.1.), insan plazmasında HDL (high density lipoprotein) biyomolekülüne bağlı olarak bulunur. Günümüzde sıkça rastlanan kalp-damar hastalıklarında, lipit metabolizmasındaki rolü ile büyük bir öneme sahiptir. Karaciğerde sentezlenen PON, fizyolojik fonksiyonu henüz tam olarak belirlenememiş olsa da en önemli özelliklerinden birisi de kolesterolün taşınmasında rol alan LDL'nin ve HDL'nin oksidasyonunu önlemektir. Bazı organofosfatlı bileşiklerin zehirsizleştirilmesinde de rol oynamaktadır.

Organofosfatazların memelilerin kan plazmasındaki varlığı yaklaşık 80 yıl önce tespit edilmiştir [1]. Daha sonra yapılan çalışmalar bu enzimlerin paraoksonaz ve arilesteraz olduğunu göstermiştir [2]. Aldridge, ilk olarak organofosfatazları; A ve B olmak üzere iki ana grupta sınıflandırmıştır. A esterazlar organofosfat bileşiklerini hidrolizlerken, B esterazlar bu bileşikler tarafından inhibe edilmektedir [3, 4]. A esteraz grubunda yer alan paraoksonaz enzimi, aktivitesinin ölçümünde genellikle substrat olarak paraokson kullanıldığı için bu ismi almıştır. Paraokson organizmaya zararlı olup pestisit olarak kullanılan parationun metabolik ürünüdür [5]. Bu enzimin sistematik adı arildialkilfosfatazdır (E.C.3.1.8.1). Ayrıca aktivitesi ve kararlılığı için Ca^{+2} 'a bağımlı, 45-kDa moleküler ağırlığa sahip, antioksidan özelliği gösteren bir enzimdir [6, 7].

Paraoksonaz enziminin antioksidan ve detoksifikasyon özelliğinden dolayı son yıllarda bu enzim üzerinde çok yoğun çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [8-10]. Yapılan çalışmalar, insan serum paraoksonaz enziminin geniş bir substrat özgüllüğüne sahip olduğunu göstermiştir. Aktivite ölçümlerinde değişik substratlar kullanılırken en çok tercih edileni paraoksandır. [6, 11, 12]. İnsan serum paraoksonaz enzimi yüksek oranda saflaştırılmış ve enzimin bazı özellikleri belirlenmiştir [13, 14]. Saflaştırılmış enzim üzerinde yapılan çalışmalar, enzimin üç tane sistein rezidüsü ihtiva eden, 355 aminoasitten meydana geldiğini göstermiştir [15]. Bu sistein rezidülerinin ikisi disülfid köprüsü ile bağlı bir tanesinin de serbest olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca inhibitör ve yönlendirilmiş mutagenез çalışmaları ve aktivitesi için Ca^{+2} 'a bağımlılığı dikkate alınarak enzimin aktif bölgesinde Triptofan, Asparagin ve glutamin rezidülerinin bulunduğu gösterilmiştir [12, 16-18].

PON1'in aktivitesinin azalmasıyla birlikte ateroskleroz ve organofosfat toksisitesi riski olduğu kabul edilmiş ve bu nedenle, PON1'i etkileyen faktörlerin net bir şekilde anlaşılması gerekmiştir. Literatürde, PON1 enziminin biyolojik fonksiyona etki mekanizmalarını anlamak için bazı önemli çalışmalar yapılmıştır [19, 20]. Literatürde

ticari olarak temin edilebilen çeşitli ilaçlar, bazı metal iyonları, kumarin türevleri ve pestisitlerin inhibisyon çalışması bildirilmiştir. Tüm bu nedenlerden dolayı, PON'lar yoğun araştırma konusu haline gelmiştir [21-26].

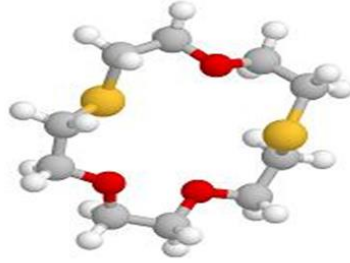
Tiyo taç eterlerin metal iyonlarına karşı olan ilgileri bilim adamlarının dikkatini çekmiştir. 1969'da Rosen ve Busch 14S4'ü sentezlediler ve bunun nikel(II) kompleksini hazırladılar [27]. Oksijen içeren taç eterlerin özellikle katyonlarla koordine davranışı yoğun olarak çözüldüden alkali metal iyonlarını izole etmek ve bağlamak için kullanıldı [28, 29]. Azot ve kükürt donör atomları içeren halkalı bileşikler onların ağır geçiş metal iyonlarıyla yüksek afinite göstermesi ve onların seçiciliği donör atom ve halka boyutunu değiştirerek kolayca akort edilebilir olması oldukça ilgi çekicidir. O,N,S-donör taç eterler ilginç bir bileşik sınıfı oluşturur ki yumuşak metal katyonlar için seçici ekstraktant ve bazı enzimlerin aktivitesi için bir model olarak kullanılmıştır [30-32].

Bu çalışmada, Çiçek ve ark. tarafından sentezlenen 7,13-dithio-1,4,10-trioksasiklo pentadekan (DT-15-Crown-5) [33] bileşiğinin PON1 enzimi üzerindeki inhibisyon etkisi *in vitro* şartlar altında araştırılıp IC₅₀ değeri hesaplanmıştır.

2. Deneysel çalışmalar

2.1. İnhibitör olarak kullanılan tiyo taç eter

Bu çalışmada kullanılan tiyo taç eter halka kapama yöntemiyle S_N² mekanizmasına göre azot atmosferinde ve sezyum karbonat (baz) varlığında reaksiyona girilerek sentezi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. 7,13-dithio-1,4,10-trioksasiklopentadekan (DT-15-Crown-5).

2.2. PON1 enziminin insan kanından hidrofobik etkileşim kromatografisi ile saflaştırılması

İnsan kan serumu, 40 mL taze insan kanından izole edildi ve kuru bir tüpe kondu. Kan örnekleri 3000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildi ve serum uzaklaştırıldı. İlk olarak, serum paraoksonaz, amonyum sülfat çöktürmesiyle (% 60-80) izole edildi [34]. Çökelti, 20 dakika boyunca 15000 rpm'de santrifüjlenerek toplandı ve 100 mM Tris HCl tamponunda (pH 8.0) yeniden çözündürüldü. Sonra, insan serum paraoksonaz enzimini daha önce grubumuz tarafından sentezlenen Sepharose 4B-L-tirozin-1-naftilamin hidrofobik jeli ile saflaştırıldı [34]. Kolon, 1 M amonyum sülfat içeren 0.1 M Na₂HP0₄ tamponu (pH 8.00) ile dengelenmiştir. Elüsyonu ise amonyum sülfatlı ve amonyum sülfatsız 0,1 M Na₂HP0₄ tamponu (pH 8.00) kullanılarak amonyum sülfat gradyanı ile elüe edildi.

2.3. PON1 enziminin aktivite tayini

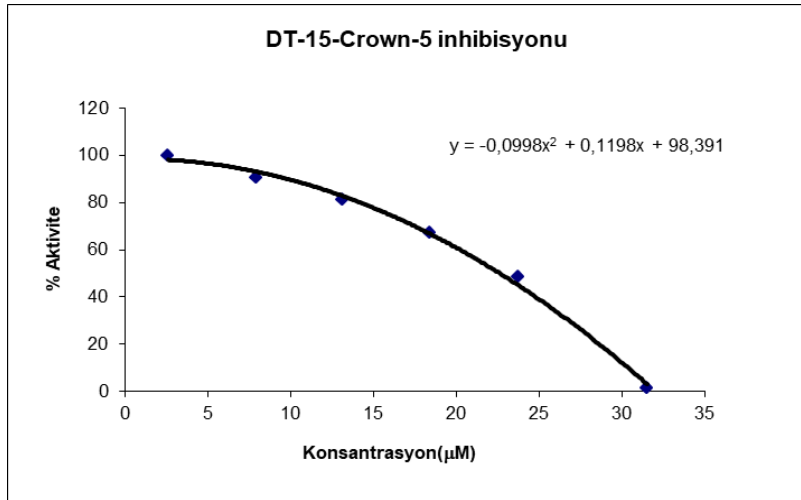
PON1 enziminin paraoksona karşı aktivitesi, Gan ve arkadaşları tarafından tarif edilen yöntemle spektrofotometrik olarak ölçüldü [8].

2.4. İnhibitörün $[IC_{50}]$ değerlerinin bulunması

İnhibitörlerin IC_{50} değerlerini bulmak için, farklı konsantrasyonlarda taç eter reaksiyon ortamına ilave edilerek aktivite ölçümleri yapıldı. İnhibitörsüz ortamda bulunan enzim aktivitesi %100 aktivite olarak kabul edilerek, inhibitörlü ölçümlerin % aktivite hesaplandı ve % Aktivite - $[I]$ grafiği çizildi (Şekil 2).

3. Sonuçlar ve tartışma

Hidrofobik etkileşim kromatografisi ile saflaştırılan PON1 enziminin saflık kontrolü SDS-PAGE ile yapılmıştır. Şekil 2'deki inhibisyon grafiği kullanılarak inhibitör olarak kullandığımız bileşiğin $[IC_{50}]$ değeri 22,62 μ M olarak hesaplanmıştır.

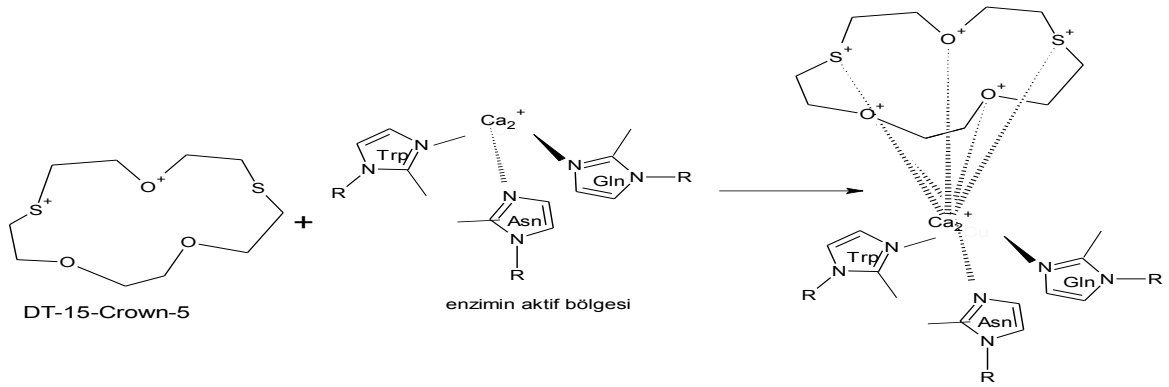


Şekil 2. IC_{50} grafiği.

PON1 enziminin inhibisyonu için literatürde bazı inhibitörlerden bahsedilmiştir. Karatas ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada bazı kumarin ve benzoksazinonlar PON1 enziminin aktivitesini önemli derecede düşürdüğü görülmüştür [35]. Bunlara ek olarak bazı anestezikler, kalsiyum kanal blokerleri, bazı metal iyonları ve bazı pestisitlerin söz konusu enzimi inhibe ettikleri belirtilmiştir [36-39].

Bazı tiyo taç eterlerin karbonik anhidraz ve polifenol oksidaz enzimlerini inhibe ettiği literatürde belirtilmiştir [40-43]. Tiyo taç eterlerin metal iyonlarına olan ilgisinden dolayı söz konusu çalışmada inhibitör olarak kullandığımız bileşik, biyomolekül olan PON1 enziminin aktif bölgesindeki Ca^{2+} iyonu ile etkileşime girerek inhibe ettiği söylenebilir.

Çalışmamızda kullandığımız *DT-15-Crown-5*, Şekil 3.'de gösterildiği gibi PON1 enziminin aktif bölgesinde kofaktör olarak bulunan Ca^{2+} ile etkileşime girdiğinden enzimi inhibe ettiği deneyle ispatlanmıştır. Bu inhibitör özelliği ile *DT-15-Crown-5* ileri çalışmalarda farmakolojik ajan olarak kullanılması mümkündür.



Şekil 3. DT-15-Crown-5 inhibitörü ile PON1 enziminin etkileşim mekanizması.

Kaynaklar

- [1] Broomfield, C.A., Ford, K.W., Hydrolyses of nerve gases by plasma enzymes, **Proceedings of the 3rd International Meeting on Cholinesterases, La Grande-Motte**, 161, 65, (1991).
- [2] Davies, H.C., Richter, R.J., Keifer, M., Broomfield, C.A., Sowalla, J., Furter, C.I., The effect of the human serum paraoxonase polymorphism is reversed with diazoxon, soman and sarin, **Nature Genetics**, 14, 334, (1996).
- [3] Jakubowski, H., Calcium-dependent human serum homocysteine thiolactone hdyrolase. A protective mechanism against protein N-homocysteinylatıon, **J. Biol. Chem.**, 275, 3957, (2000).
- [4] Kitchen, B.J., Masters, C.J. and Winzor, D.J., Effects of lipid removal on the molecular size and kinetic properties of bovine plasma arylesterase, **Biochem J**, 135, 93, (1973).
- [5] Mazur, A., An enzyme in animal tissue capable of hydrolyzing the phosphorus-fluorine bond of alkyl fluorophosphates, **J. Biol. Chem.**, 164, 271-289, (1946)
- [6] Aldridge, W.N., Serum esterases I: two types of esterases (A and B) hydrolysing p-nitrophenyl acetate propionate and butyrate and a method their determination, **Biochem J.**, 53,110-117, (1953).
- [7] Aldridge, W.N., Serum esterases II: an enzyme hyrolysing diethyl p-nitrophenyl phosphate (E600) and its identitiy with the A-esterase of mamalian sera, **Biochem. J.**, 53, 117-124, (1953)
- [8] Gan, K.N., Smolen, A., Eckerson, H.W., La Du, B.N., Purification of human serum paraoxonase/arylesterase. Evidence for one esterase catalyzing both activities, **Drug Metab. Dispos.**, 19, 100-106, (1991).
- [9] Sorenson RC., Primo-Parmo SL., Kuo CL., Adkins S., Lockridge O. and La Du BN., Reconsideration of the catalytic center and mechanism of mammalian paraoxsonase/arylesterase, **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, 92, 7187-7191, (1995).
- [10] Sorenson RC., Aviram, M., Bisgaier, C.L., Billecke, S., Hsu, C., La Du, B.N., Properties of retained N-terminal hydrophobic leader sequence in human serum paraoxonase/arylesterase, **Chem. Biol. Interact.**, 119-120, 243-249, (1999).
- [11] Main, A.R., The role of A- esterase in the acute toxicity of paraoxon, TEPP and parathion, **Can. J. Biochem. Physiol.**, 34, 197-216, (1956).
- [12] Aviram, M., Hardak, E., Vaya, J., Mahmood, S., Milo, S., Hoffman, A., Billecke, S., Draganov, D. and Rosenblat, M., Human serum paraoxonases (PON1) Q and R selectively decrease lipid peroxides in human coronary and

- carotid atherosclerotic lesions: PON1 esterase and peroxidase-like activities, **Circulation**, 101, 2510, (2000).
- [13] Azarsız, E. and Sözmen, E.Y., Paraoksonaz ve Klinik Önemi, **Türk Biyokimya Dergisi**, (2000)
- [14] La Du, B.N., Pharmagenetics of drug Metabolism, **Pergamon, Elmsford, NY**, 51-91, (1992)
- [15] Rodrigo, L., Gil, f., Hernandez,A.F., Pla, a., Identification of two rat liver proteins with paraoxonase activity: biochemical evidence for the identity of paraoxonase and arylesterase, **Chem. Biol. Interact.** 119-120,263-275, (1999).
- [16] Sozmen, B., Delen, Y., Girgin, F.K., Sözmen, E.Y., Catalase and paraoxonase in hypertensive type 2 diabetes mellitus: correlation with glycemic control, **Clinical Biochemistry**, 32,423-427, (1999).
- [17] Rolls, Bj, Effects of Intense Sweeteners on Hunger, Food-Intake, and Body-Weight, **American Journal of Clinical Nutrition**, 53, 872-878, (1991).
- [18] Zarate, F.M., Schulwitz, S.E., Stevens, K.J., Venables, B.J., Bioconcentration of triclosan, methyl-triclosan, and triclocarban in the plants and sediments of a constructed wetland source, **Chemosphere**, 88, 323-329, (2012).
- [19] Billecke, S., Draganov, D., Counsell, R., et al., Human serum paraoxonase (PON1) isozymes Q and R hydrolyze lactones and cyclic carbonate esters, **Drug Metab Dispos**, 28, 35-41, (2000).
- [20] Harel, M., Aharoni, A., Gaidukov, L., et al., Structure and evolution of the serum paraoxonase family of detoxifying and anti-atherosclerotic enzymes, **Nat Struct Mol Biol.**, 11, 412–419, (2004).
- [21] Kockar, F., Sinan, S., Yildirim, H., Arslan, O., Differential effects of some antibiotics on paraoxonase enzyme activity on human hepatoma cells (Hep62) in vitro, **J. Enzyme Inhib Med Chem**, 25, 715-719, (2010).
- [22] Erzençin, M., Basaran, I., Cakir, U., et al., In vitro inhibition effects of some dihydroxycoumarin compounds on purified human serum paraoxonase I (PON1), **Appl Biochem Biotechnol**, 168, 1540–1548, (2012).
- [23] Senturk, M., Ekinci, D., Alici, H.A., Beydemir, S., Paraoxonase-1, an organophosphate detoxifier and cardioprotective enzyme is inhibited by anesthetics: an in vitro and in vivo insight, **Pest Biochem Physiol**, 11, 206-211, (2011).
- [24] Turkes C, Soyut H, Beydemir S. Effect of calcium channel blockers on paraoxonase-1 (PON1) activity and oxidative stress, **Pharmacol Rep**, 66,74-80, (2014).
- [25] Pla, A., Rodrigo, L., Hernandez, A.F., et al., Effect of metal ions and calcium on purified PON1 and PON3 from rat liver, **Chem Biol Interact**, 167, 63-70, (2007).
- [26] Gencer, N., Arslan, O., In vitro effects of some pesticides on PON1Q192 and PON1R192 isoenzymes from human serum, **Fresen Environ Bull**, 20, 590-596, (2011).
- [27] Black, D.St.C., McLean, I.A., **Tetrahedron Lett.**, 39, 61, (1969).
- [28] Izatt, R.M., Pawlak, K., Bradshaw, J.S., Bruening, R.L., **Chem. Rev.**, 91, 1721, (1991).
- [29] Craig, A.S., Katakya, R., Matthews, R.C., Parker, D., Ferguson, G., Lough, A., Adams, H., Bailey, N., Schneider, H., **J. Chem.Soc.**, 2, 1523, (1990).
- [30] Bradshaw, J.S., Izatt, R.M., **Acc. Chem. Res.**, 30, 338, (1997).
- [31] Krylova, K., Kulatilleke, C.P., Hegg, M.J., Salhi, C.A., Ochrymowycz, L.A., Rorabacher, D.B., **Inorg. Chem.**, 38, 4322, (1999).

- [32] van de Water, L.G.A., Driessen, W.L., Glenny, M.W., Reedijk, J., Schröder M., **React. Funct. Polym.**, 51, 33, (2002).
- [33] Çiçek, B., Yildiz, A., Synthesis Metal Ion Complexation and Computational Studies of Thio Oxocrown Ethers, **Molecules**, 16, 8670-83, (2011).
- [34] Sinan, S., Kockar, F., Arslan, O., Novel purification strategy for human PON1 and inhibition of the activity by cephalosporin and aminoglikozide derived antibiotics, **Biochimie**, 88, 565-574, (2006).
- [35] Karataş, M.O., Uslu, H., Alici, B., Gökçe, B., Gencer, N., Arslan, O., Some coumarins and benzoxazinones as potent paraoxonase 1 inhibitors, **J Enzyme Inhib Med Chem.**, 31, 1386-1391, (2016).
- [36] Senturk, M., Ekinci, D., Alici, H.A., Beydemir, S., Paraoxonase-1, an organophosphate detoxifier and cardioprotective enzyme is inhibited by anesthetics: an in vitro and in vivo insight, **Pest Biochem Physiol**, 11, 206-211, (2011).
- [37] Turkes, C., Soyut, H., Beydemir, S., Effect of calcium channel blockers on paraoxonase-1 (PON1) activity and oxidative stress, **Pharmacol Rep** 66, 74-80, (2014).
- [38] Pla, A., Rodrigo, L., Hernandez, A.F., et al., Effect of metal ions and calcium on purified PON1 and PON3 from rat liver, **Chem Biol Interact**, 167, 63-70, (2007).
- [39] Gencer, N., Arslan, O., In vitro effects of some pesticides on PON1Q192 and PON1R192 isoenzymes from human serum, **Fresen Environ Bull**, 20, 590-596, (2011).
- [40] Ergün, A., Çiçek, B., Bazı makrohalkalı tiyocrown eterlerin polifenol oksidaz enzimi üzerindeki inhibisyon etkilerinin araştırılması, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Dergisi**, 20, 1-8, (2018).
- [41] Akkemik, E., Çalışır, Ü., Çiçek, B., İnsan karbonik anhidraz I,II izoenzim aktiviteleri üzerine bazı tiyocrown eterlerin etkisi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Dergisi**, 19, 192-199, 2017.
- [42] Çiçek, B., Ergün, A., Gencer, N., Synthesis and Evaluation in vitro Effects of Some Macrocyclic Thiocrown Ethers on Erythrocyte Carbonic Anhydrase I and II, **Asian Journal of Chemistry**, 24, 3729-3731, (2012).
- [43] Akkemik, E., Çiçek, B., Camadan, Y., Çalışır, U., Onbasioglu, Z., The determination of the carbonic anhydrases activators in vitro effect of mixed donor crown ethers, **Journal of Biochemical and Molecular Toxicology**, 32, 3, (2018).

Üniversite tercihinin bulanık aksiyomatik tasarım ile değerlendirilmesi

Hanife PALABIYIK^{1,*}, Sümeyye BAYINDIR¹, Özer UYGUN²

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya

²Sakarya Üniversitesi, Yapay Zeka Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Sakarya

Geliş Tarihi (Received Date): 13.03.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 22.10.2019

Öz

Üniversite seçimi bireylerin gelecek hayatlarını etkileyen en önemli kararlardan birisidir. Fakat üniversite sayısının fazlalığı ve her üniversitenin sunduğu imkânların çeşitliliği üniversite seçimini zorlu bir problem haline dönüştürmekte ve bu problemin çözümünde de devreye çok kriterli karar verme yöntemleri girmektedir. Bu yöntemlerden biri de uygulamada kullanılan Aksiyomatik Tasarım yöntemidir. Aksiyomatik Tasarım sistem ve tasarım aralıklarını dikkate alarak her alternatif için bilgi içeriklerini üretir ve üretilen bilgi içeriklerinden en küçük olanı seçmeyi hedefler. Bu doğrultuda kriterlere göre üniversite tercihinin sözel olarak ifade etmek insan düşünce yapısına daha uygun olduğundan bu çalışmada dilsel ifadeler kullanılarak bulanık Aksiyomatik Tasarım uygulanmıştır. Ayrıca her kriterin önem derecesi gerçek hayatta aynı olmadığı için öncelikle Bulanık AHP ile ağırlıklar hesaplanmıştır. Ardından ağırlıklı bulanık Aksiyomatik Tasarım kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık aksiyomatik tasarım, bulanık AHP, üniversite seçimi.

Evaluating university choice by fuzzy axiomatic design

Abstract

University selection is one of the most important decisions that affect the future life of individuals. However, due to the high number of universities and the opportunities offered by each university, university selection becomes a challenging problem and multi-criteria decision-making methods are included in the solution of this problem. One of these methods is the Axiomatic Design method which generates information content for each

* Hanife PALABIYIK, hanife.palabiyik@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3580-4482>
Sümeyye BAYINDIR, bayindirsumeyye@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0649-5836>
Özer UYGUN, ouygun@sakarya.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8437-7678>

alternative considering the system and design intervals and aims to select the smallest of the information content produced. In this direction, fuzzy axiomatic design has been applied by using linguistic expressions in this study since linguistically expressing the choice of university based on criteria is more suitable for human nature. In addition, since the importance of each criterion is not the same in real life, first, the weights were calculated with Fuzzy AHP. Then, fuzzy axiomatic design was used, and the obtained results were compared.

Keywords: *Fuzzy axiomatic design, fuzzy AHP, selection of university.*

1.Giriş

Her birey hayatını devam ettirebilmek adına belli mesleklere yönelir ve bu seçtiği meslek sayesinde yaşamını idame ettirebilir. Meslek edinmenin en etkili ve en başarılı hali ise alınan güzel bir eğitimidir. Bireyler ilkokuldan lise sonuna kadar olan süreçte kendini tanıyıp, yönelmek istediği mesleği kafasında belirler ve eğitimin son basamağı olan üniversite tercihini o şekilde yapar. Ülkemizde lisans ve ön lisans eğitimi veren farklı kalitelerde yüzlerce üniversite vardır ve bu sayı her geçen gün artmaktadır. Alternatif üniversite sayısı artıkça tercih yapma olasılığı da bir o kadar zorlaşmaktadır.

Meslek seçimi bireyler için çevre ile sosyal ilişkiler kurmayı sağlayan ve bireylere işe yaradıkları duygusunu hissettiren bir etkinlik alanıdır. Çünkü bireyler bu seçimi yaparken ilerde yaşamak istedikleri hayatı da seçmiş olurlar[1]. Fakat meslek seçimi yapmış olmak aslında bir son değil her şeyin başlangıcıdır. O meslekte çok iyi yerlere gelip başarılı olabilmek için çok iyi bir eğitim alınması gerekmektedir. İşte bu noktada aslında üniversite seçiminin ne kadar önemli olduğu konusu devreye girmektedir.

Öğrenciler okumak istedikleri bölüme karar verdikten sonra ciddi bir araştırma içerisine girerler. Bu araştırmaların en önemli nedeni ise kaliteli bir eğitim alıp, eğitimlerinin sonunda yani mezun olduktan sonra edindikleri bilgiler ile kolayca iş fırsatlarını yakalayabilmektir. Ancak üniversite sayısının fazlalığından dolayı her yıl üniversiteler binlerce üniversite mezunu vermekte ve kaliteli eğitim alamayan birçok üniversite mezunu işsiz kalmaktadır.

Bireyler üniversite tercihi yaparken birçok kriteri göz önünde bulundurur. Bu kriterler örnek olarak; ulaşım, üniversitenin modern, bilimsel ve teknolojik altyapısı, üniversitenin eğitim verebilen yeterli miktarda akademik kadrosunun varlığı, üniversitenin şehri, bu şehrin sosyo-kültürel olanakları, okunmak istenen bölüme dair o şehrin öğrenciye sağlayacağı imkânlar, üniversitenin çevresinde bulunan yurt olanakları ve ulaşım gibi faktörler sayılabilir.

Üniversitenin eğitimdeki değişimleri takip ederek modern bir eğitim vermesi, üniversite binalarının derslik, laboratuvar, kulüpler vb. açısından bilimsel ve teknolojik altyapısının güçlü olması üniversite seçimini etkileyen önemli faktörlerdendir. Öğrencinin ders gördüğü ortamda kendini rahat hissetmesi, öğrendiği bilgileri laboratuvar ortamlarında test ederek görebilmesi ve çeşitli aktivitelerin yapıldığı kulüplere katılması eğitimin durağan bir halden zevkli bir hale gelmesini sağlar.

Üniversitede bulunan akademik kadronun da sayısal olarak yeterli olması, öğrencilerin farklı öğretim görevlilerinden ders alabilme imkânı yaratır ve istedikleri zaman gidip istediklerini sorabilmeleri de kaliteli bir eğitimin gerekliliklerindedir.

Bir üniversiteyi tercih esnasında üst sıralara taşıyan en önemli etkenlerden biri de üniversitenin etrafında bulunan yurt imkânlarıdır. Çünkü üniversite çevresinde yurtların bulunmaması birçok öğrenciyi hem maddi hem manevi açıdan zarara uğratmaktadır. Yurtların üniversiteye uzak olması öğrencilerin derse yetişip yetişmeme konusunda strese sebep olacak, derslerin verimsiz geçmesine de neden olurken aynı zamanda yol masrafından dolayı maddi olarak da dezavantaja neden olmaktadır.

Üniversitede okunmak istenen bölüme ait şehrin belli bir alt yapısının olması da tercih edilen kriterlerden biridir. Örneğin mühendislik fakültesi okumak isteyen bir öğrenci seçim yapmak istediği üniversitenin sanayi ayağı ve staj imkânlarının iyi olmasını bekler. Bu şekilde eğitimini aldığı teorik bilgilerini birçok firmada pratik bilgiye dönüştürebilir.

Üniversitelerde eğitim almanın dışında üniversite çevresindeki sosyal kültürel olanaklar da birçok öğrenciyi üniversite seçiminde cezbetmektedir. Üniversite çevresinde gezilecek turistik yerlerin olması, alışveriş merkezlerinin olması stresli geçen eğitim hayatına kısa bir mola verdirebilir.

Üniversite seçiminde birçok kriter olduğu gibi üniversitenin altyapısı da söz konusu kriterlerden biridir. Tercih işlemi yapılırken her üniversite için bu kriterler ayrı ayrı incelenmeli ve kriterleri diğerlerine göre daha iyi sağlayan üniversite tercih edilmelidir. Literatüre bakıldığında bu tarz bir çalışmanın yapılmadığı görülmüş ve genelde üniversite seçimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalara örnek olarak; Konjoint Analizi ile üniversite tercihlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi [2], Anova Testi yapılarak 306 Öğrencinin Üniversite tercihlerine bakarak üniversite tercihinde etkili olan kriterlerin belirlenmesi [3], Manova Analizi ile Üniversite öğrencilerinin lisans yönetimi eğitimi için belirli bir üniversiteyi seçerken dikkate aldığı kriterlerin incelenmesi [4] ve öğrencilerin üniversite ve bölüm seçiminde gördükleri faktörler üzerine çalışma [5] verilebilir.

Üniversite seçimi gibi çok alternatifli ve çok kriterli problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanılmaktadır. Çok kriterli karar verme sayesinde tüm alternatifler her bir kriter açısından tek tek değerlendirilir ve istenilen kriterleri en iyi oranda sağlayan alternatif optimum çözüm yani en iyi çözüm olarak kabul edilebilir.

Sayısal verilerin olmadığı ve kriterlerin derecesinin dilsel olarak ifade edildiği durumlar bulanık olarak ifade edilir. Örneğin üniversite çevresinin sosyal kültürel olanakları sayısal olarak ifade edilmesi her zaman mümkün değilken dilsel yani sözel olarak kötü, orta, iyi şeklinde ifade edebilir. Bu durumda çok kriterli karar verme tekniklerinden bulanık olarak yararlanmak gerekebilir.

Bulanık çok kriterli karar verme tekniklerinden birisi de Aksiyomatik Tasarımdır. Aksiyomatik Tasarım da kriterler için uzmanlar tarafından tasarım aralıkları belirlenir, daha sonra alternatifler için de sistem aralıkları hesaplanır. Tasarım ve sistem aralıklarının ortak alanı sayesinde her alternatif için bilgi içeriği hesaplanır. En küçük bilgi içeriğini üreten alternatif, en iyi alternatif olarak tercih edilir.

Üniversite seçim probleminde bulanık aksiyomatik tasarım uygulamasına rastlanmamış fakat bu yöntemin kullanıldığı bir beyaz eşya üreticisi [6] ve bir bebek maması üreticisi için tedarikçi seçim problemlerinden faydalanılmıştır [7].

2. Metodoloji

Bu çalışmada, kriter ağırlıklarını elde etmede Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) kullanılmıştır. Literatürde BAHP ile ilgili oldukça fazla çalışma olduğundan ve bu çalışmanın asıl konusunun bulanık aksiyomatik tasarım olmasından dolayı BAHP hesaplamaları ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilmemiştir. Bu kısımda aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım yöntemleri anlatılmıştır.

2.1. Bulanık analitik hiyerarşi prosesi

Klasik AHP yönteminde karar vericiler sonuçları hesaplayabilmek adına Satty'nin [1-9] skalasını yani gerçek sayıları kullanmakta ve bu durum değerlendirme sürecini zorlaştırmakla beraber belirsizliklere yol açmaktadır. Bu nedenle akademik çalışmalarda karar verme sürecindeki belirsizlikleri bulanık mantık yöntemi kullanarak gidermek mümkün hale gelmiştir. Çalışmanın ağırlıklı bulanık aksiyomatik tasarım kısmında Chang tarafından önerilen Genişletilmiş Analiz Yöntemi kullanılmıştır [8]. Chang'e göre ikili karşılaştırmalar üçgensel bulanık sayılarla temsil edilmektedir. Bulanık AHP (BAHP) sayesinde karar vericiler ikili karşılaştırmalar yaparken "Vasat", "Zayıf", "Mükemmel" gibi dilsel ifadeleri ele alarak araştırma yapabilmektedir. Çalışmalarda dilsel ifadelerin ele alınması, karar vericilerin anketleri yorumlamasını kolaylaştırmaktadır [9]. Bulanık AHP hiyerarşik bulanık problemleri çözmek amacıyla geliştirilmiştir [10]. BAHP sürecinde karar matrisinde yer alan ikili karşılaştırmalar tasarımcının vurgusuna göre dönüştürülen bulanık sayılardır [11]. BAHP'nin bu özelliğiyle en önemli artısı, çok kritere sahip problemleri ele alırken sağladığı kolaylıktır.

2.2. Aksiyomatik tasarım

Karar verme problemlerinde kararı veren için en önemli nokta, seçilen alternatifin istenen kriterleri en üst seviyede karşılamasıdır. Bundan dolayı karar vermeyi sağlama ve karar vericilerin işlerini kolaylaştırma adına sürekli olarak yeni karar verme yöntemleri araştırılmaktadır. Hız ve verimlilik açısından Aksiyomatik Tasarım (AT) bunlardan birisidir.

Aksiyomatik Tasarım müşterilerin taleplerini gereksinimleri doğrultusunda tespit ederek, fonksiyonel ihtiyaçlarla tasarım parametrelerini oluşturur ve devamında tasarım parametrelerinden nihai sonuca ulaşmak için Aksiyomatik Tasarım metodolojisini uygular. Çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde müşteri istekleri kapsamında sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

Aksiyomatik Tasarım; tasarım alanını bilimsel yapmak için geliştirilen bir tasarım metodudur. Suh [12] tarafından Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde geliştirilen Aksiyomatik Tasarımın amacı; karar vericilerin daha kreatif olması, deneme-yanılmayı minimum yapma, rassallığı azaltma ve seçenekler arasından en iyisini bulma olarak ifade edilmiştir. Bu yöntem ile belirlenen tasarım alanında istenilen kriterlere uygun sistematik bir arama yapar ve gereksiz aramaları en aza indirerek en olurlu alternatifin seçimini kolaylaştırır.

Suh tasarımı, “Neyi hedefliyoruz?” ve “Bu hedefe nasıl ulaşabiliriz?” sorularının birlikte çözümlenmesi olarak tanımlar [13]. Aksiyomatik Tasarım için en önemli unsur tasarım aksiyomlarıdır. Bu metodolojide bağımsızlık aksiyomu ve bilgi aksiyomu olmak üzere 2 tasarım aksiyomu bulunmaktadır. Bu aksiyomlar sayesinde alternatifler karşılaştırılarak en iyisi seçilir.

Bağımsızlık aksiyomu, fonksiyonel ihtiyaçlarla tasarım parametreleri arasındaki ilişkiye bakar. Burada tanımlanan fonksiyonel ihtiyaçlar problemin kriterleridir ve birbirinden bağımsız olmak zorundadır. Bilgi aksiyomu bilgi içeriğini temsil eder ve seçenekler arasında minimum bilgi içeriği üreten sonuç optimum alternatifi oluşturur.

Aksiyomatik tasarım yönteminin kullanılmasının birçok avantajı bulunmaktadır. Karar verme sürecine yardımcı bir sistem olması, daha gerçekçi ve doğru kararlar verilmesini sağlaması ve çok kriterli ve seçenekli karar verme problemlerinde en iyi çözümü bulmayı sağlaması bu avantajlardan bazılarıdır.

Bilgi aksiyomu bilgi içeriğini temsil eder. Bilgi içeriği (I_i), ifade edilen bir fonksiyonel ihtiyacın (Fİ) gerçekleşme olasılığı (p_i) olarak açıklanır. Bilgi içeriği denklemi Shannon eşitliği olarak bilinir.

$$I_i = \log_2(1/p_i) \quad (1)$$

Bilgi küçük birimlerden oluşur. Karşılanması gereken çok fazla fonksiyonel ihtiyaç oluşacağından bilgi içeriğinin elde edilebilmesi için logaritmik fonksiyon kullanılmıştır. N tane Fİ olduğu durumda bilgi içeriği bu olasılıkların toplamına eşittir. Bu toplam şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$I_{sistem} = \sum_{i=1}^n \log_2(1/p_i) \quad (2)$$

Hesaplanan bu toplam 1’e eşit olursa bu bilgi içeriğinin 0 olduğu, bir veya birden fazla olasılık 0 olduğunda ise bilgi içeriğinin sonsuz olduğu anlamına gelmektedir [12].

Gerçekleşme olasılığı, Fİ’nin tasarım aralığı (dr) ve Fİ’yi sağlayacak tasarım için sistem aralığı (s_r) belirlenerek bulunabilir. Bir Fİ’nin sistem olasılık dağılım fonksiyonu uniform olduğunda, tasarımcı tarafından belirlenen ‘tasarım aralığı’ ve sistemin gerçekleştirdiği ‘sistem aralığı’nın kesiştiği bölge çözümün bulunduğu yani kabul edilebilir alandır [14]. Sistem olasılık dağılım fonksiyonu uniform ise gerçekleşme olasılığı F_i ;

$$P_i = \frac{\text{Ortak Aralık}}{\text{Sistem Aralığı}} \quad (3)$$

Bu formülden hareketle bilgi içeriğinin hesabı şu şekildedir;

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Ortak Aralık}}{\text{Sistem Aralığı}} \right) \quad (4)$$

Eğer Fİ, sürekli rasgele değişken ise bilgi içeriğinin hesabı şu şekildedir;

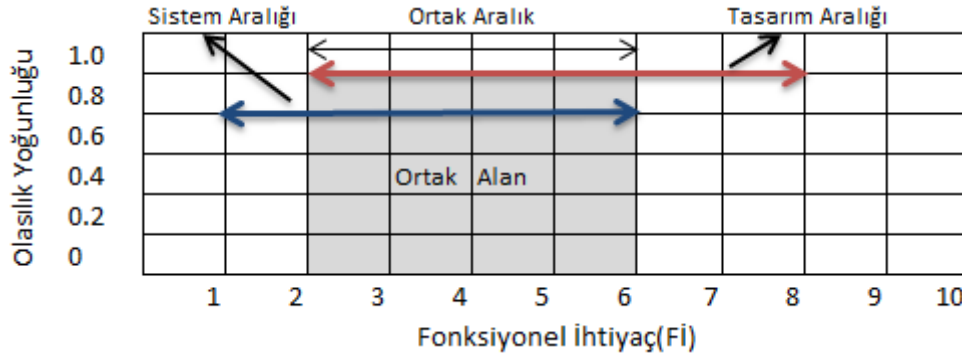
$$P_i = \int_{dr_1}^{dr_u} P_s(FI_i) dFI_i \quad (5)$$

Sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonunun integrali alınarak bütün sistem aralığının gerçekleşme olasılığı bulunur. Örnek verilecek olursa tasarım aralığının en düşük sınırı dr_1 , üst tasarım aralığının sınırı, dr_u olur.

Sadece Fİ'nin sağlandığı bölge, yani tasarım aralığı ve sistem aralığı arasında kalan ortak bölge (c_r) olarak gösterilir. Bu durumda, sistem aralığı alanının, ortak bölgenin alanına bölümü, tasarım için belirlenen hedefin gerçekleşme olasılığına eşittir [14].

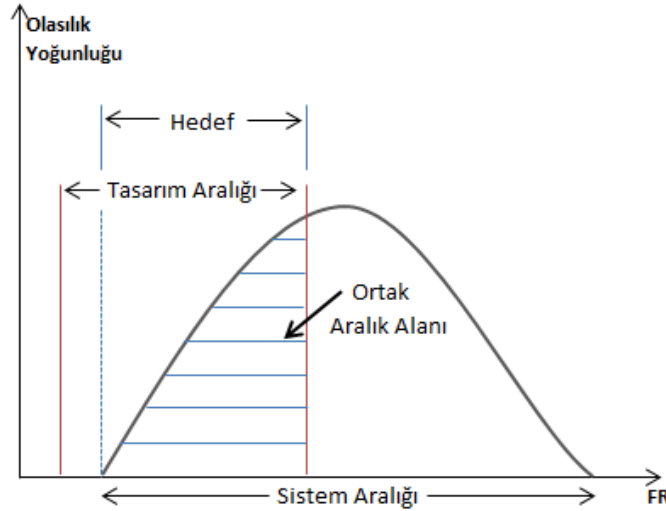
$$I = \log_2(A_{sr} / A_{cr}) \quad (6)$$

Şekil 1'de sistem aralığı belirlenmiş olup fonksiyonel ihtiyaçlara göre olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir [15].



Şekil 1. Fİ'nin sistem olasılık dağılımı, ortak aralık, tasarım ve sistem aralığı.

Fİ_i sürekli değişken olduğu durumlarda sistem aralığı belirlenmiş olan fonksiyonel ihtiyaçlara göre olasılık yoğunluk fonksiyonu Şekil 2'de verilmiştir [15].

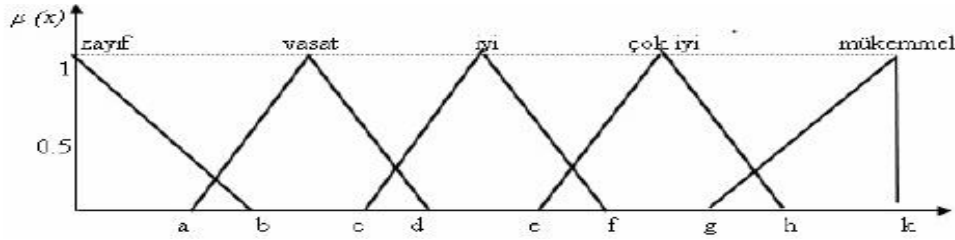


Şekil 2. Fİ'nin olasılık yoğunluğu, ortak aralık, tasarım ve sistem aralığı.

2.3. Bulanık aksiyomatik tasarım

Veriler kesin olarak bilindiğinde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılırken, verilerin belirsiz olduğu durumlarda ise kullanılan yöntemlerden birisi bulanık aksiyomatik tasarımdır. Değerleri belli olan veriler ifade edilirken gerçek sayılar kullanılırken kesin değerler olmadığı durumlarda ve sayısal değerlerin yerine dilsel

değişkenler kullanıldığında bu verilerden sonuç elde etmek için belli kurallar altında sayısal forma dönüştürülmelidir. Bu aşamada kullanılan en önemli araç bulanık küme teorisidir. Sayısal olmayan değerleri sayısallaştırabilmek adına dilsel değişkenlere ait üyelik fonksiyonlarının gösterimi Şekil 3'deki gibidir [15].



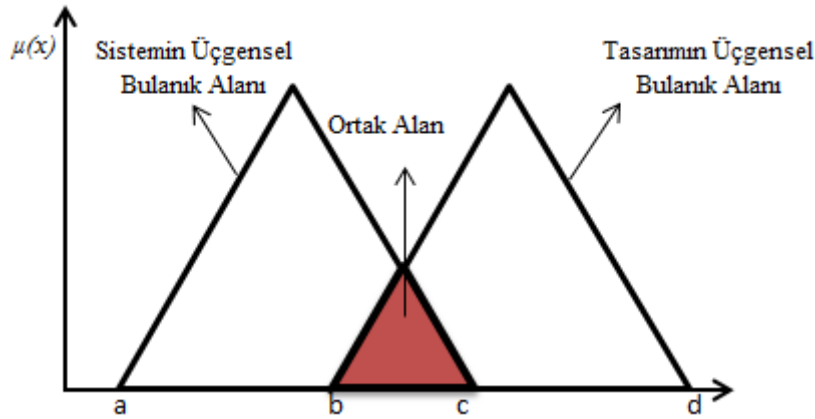
Şekil 3. Dilsel değişken şeması.

Aksiyomatik Tasarım uygulamasında, fonksiyonel ihtiyaçlar için sistem aralığı ve tasarım aralığı daima belli bir alanda tanımlanmayabilir. Belirli bir değer altında veya üstünde bir değere yaklaşık olarak gösterilebilir ve üçgensel ya da yamuksal bulanık sayılarla bu veriler ifade edilir.

Ortak alan, Bulanık AT'de üçgensel ya da yamuksal bulanık üyelik fonksiyonları ile gösterilir ve bu alan üçgensel ya da yamuksal bulanık sayıların kesiştiği bölgedir. Şekil 4'de görüldüğü gibi, ortak alan sistem aralığının bulanık üçgensel alanı ile tasarım aralığının bulanık üçgensel alanı arasındaki kesişim bölgesidir [15].

Sonuç olarak bilgi içeriği hesabı aşağıdaki gibidir.

$$I = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Tasarımının Üçgensel Bulanık Alanı}}{\text{Ortak Alan}} \right) \quad (8)$$



Şekil 4. Sistem ve tasarım aralıklarının ortak alanı.

2.3.1. Ağırlıklı bulanık aksiyomatik tasarım

Bulanık AT'de her kriterin ağırlığı bilgi içeriklerinde hesaplanırken eşit olarak kabul edilmiş fakat gerçek hayatta her kriter farklı ağırlık değerine (w_j) sahip olabilir. Bu durumda bilgi içeriklerini hesaplayabilmek adına için ek olarak aşağıda verilmiş olan eşitlik kullanılır ve bu ifade "Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım" uygulaması olarak tanımlanır [15].

$$I_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{1/w_j}, \quad 0 \leq I_{ij} \leq 1 \\ \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{w_j}, \quad I_{ij} \geq 1 \\ w_j, \quad I_{ij} = 1 \end{array} \right. \quad (9)$$

3. Üniversite seçiminde bulanık aksiyomatik tasarım uygulaması

Çalışmada Mühendislik fakültesinde okumak isteyen öğrenciler için Türkiye’de mühendislik dalında en başarılı olan 6 üniversite arasından belli kriterler altında seçim yapılmak istenmektedir. Bunun için AT yöntemiyle üniversite seçimi ele alınmıştır. Çalışmada üniversite seçimini etkileyen alternatifler incelenen makaleler ve üniversite seçiminde öğrencilerin fikirleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda öğrenciler için üniversite seçimini etkileyen 5 önemli kriter belirlenmiştir.

Bunlar;

1. Akademik Kadro: Seçilen üniversitedeki hoca sayısı yeterliliğini ifade eder.
2. İş Dünyası ile Etkileşim: Üniversite çevresindeki sanayi potansiyelini ifade eder.
3. Sosyal Kültürel Olanaklar: Üniversite çevresindeki sosyal yaşamı ifade eder.
4. Modern, Bilimsel, Teknolojik Altyapı: Üniversitenin öğrenciye sunduğu imkanlardır.
5. Yurt İmkânı: Üniversitenin bulunduğu bölgenin yurt ihtiyacına cevap verebilme yeteneğidir.

Belirlenen alternatifler doğrultusunda mühendislik alanında en iyi üniversiteyi seçebilmek adına Bulanık Aksiyomatik Tasarım yaklaşımı ve her bir kriterin AHP ile ağırlıklandırıldığı duruma bakılarak ‘Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım’ yaklaşımı uygulanmıştır. Araştırma için 6 üniversite ele alınmış ve bu üniversiteler hakkında detaylı bilgi ise o üniversitelerde okuyan öğrenciler tarafından sağlanmıştır.

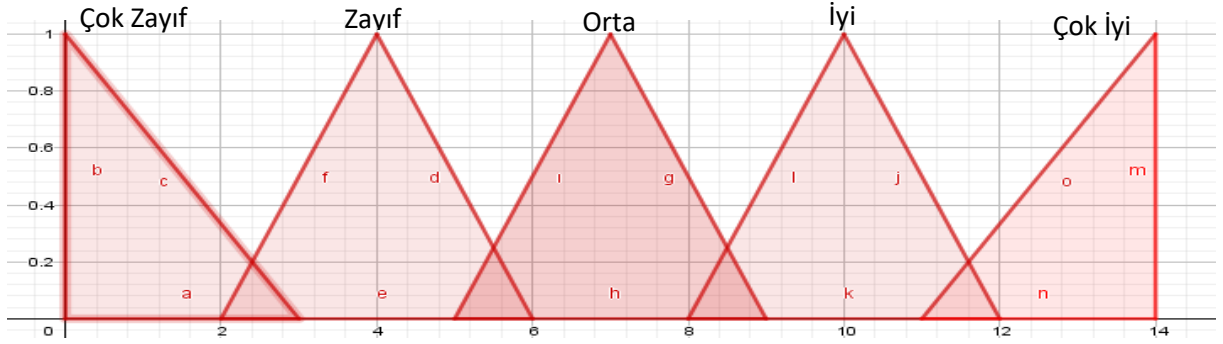
3.1. Bulanık aksiyomatik tasarım uygulaması

Aksiyomatik tasarım yönteminde bilgi aksiyomunun uygulanabilmesi için ilk olarak aksiyomatik tasarım gereksinimlerinden bağımsızlık aksiyomunun sağlanması gerekmektedir. Bu uygulamada kriterlerin sağladığı fonksiyonel ihtiyaçlar yani belirtilen alternatifler birbirinden bağımsız olduğu varsayılmıştır. Aksiyomatik Tasarımının uygulanabilmesi için öncelikle bilgi içeriklerinin hesaplanması gereklidir. Her bir alternatifte ait bilgi içeriklerinin hesaplanması için ilk önce fonksiyonel ihtiyaçların (Fİ) yani kriterlerin tasarım aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla uzman kişiler tarafından belirlenen tasarım aralıkları (kısıtlar) Tablo 1’de verilmiştir. Dilsel değişkenler için kullanılan bulanık üyelik fonksiyonları Şekil 5’de verilmiştir.

Tablo 1. Alternatifler için tasarım aralıkları.

Alternatifler	Tasarım Aralığı
Akademik Kadro (Sayısına göre)	(5, 14, 14)
İş Dünyası ile Etkileşim	(7, 14, 14)
Sosyal Kültürel Olanaklar	(5, 10, 14)
Modern, Bilimsel, Teknolojik Altyapı	(4, 14, 14)
Yurt İmkânı	(2, 14, 14)

Üçgensel üyelik fonksiyonlarını görsel olarak elde edebilmek ve formüllerde kullanılan alanları hesaplayabilmek için java tabanlı matematik yazılımı GeoGebra kullanılmıştır.



Şekil 5. Dilsel ifadeler için bulanık üyelik fonksiyonları.

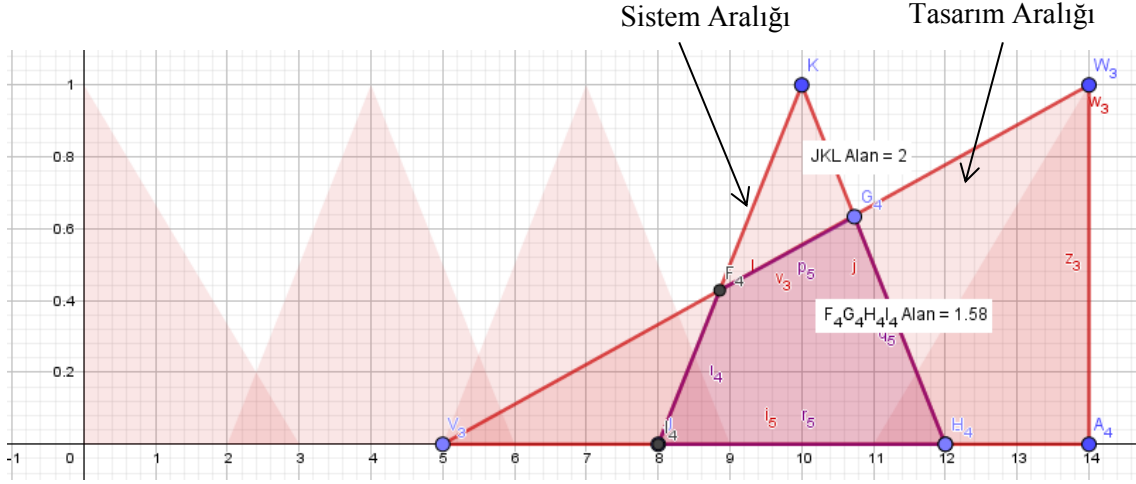
Kriterlere ait tasarım aralıkları bulunduğundan sonra her alternatifin her kriterine dair tasarım aralıkları belirlenmiştir. Belirlenen tasarım aralıkları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Üniversiteler için tasarım aralıkları.

Üniversite	Akademik Kadro	İş Dünyası İle Etkileşim	Sosyal Kültürel Olanaklar	Modern, Bilimsel, Teknolojik Altyapı	Yurt İmkânı
1. Üniversite	İyi	Çok İyi	İyi	Orta	İyi
2. Üniversite	Orta	Orta	İyi	Orta	Çok İyi
3. Üniversite	İyi	Çok İyi	İyi	Orta	Çok Zayıf
4. Üniversite	Çok İyi	İyi	Çok İyi	Zayıf	Çok İyi
5. Üniversite	İyi	İyi	İyi	İyi	Orta
6. Üniversite	Zayıf	Çok İyi	Orta	Çok İyi	İyi

Aksiyomatik Tasarım için verilen Denklem 8 kullanılarak her üniversite için bilgi içeriği hesaplamaları yapılabilir. Örneğin aşağıda 1. üniversite için akademik kadro açısından bilgi içeriği hesaplanmış ve Şekil 6’da modellenmiştir.

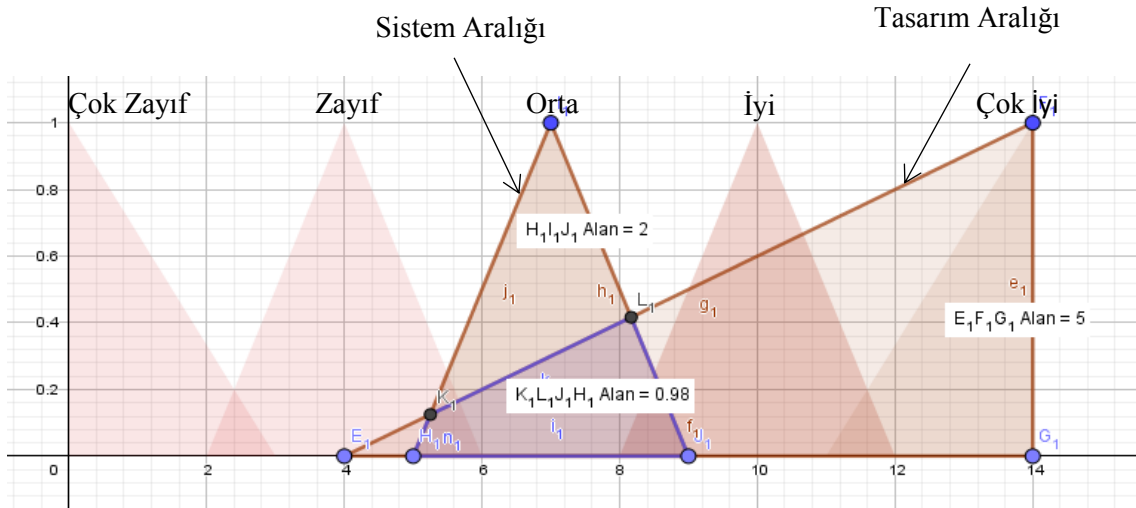
$$I_{ak1} = \log_2\left(\frac{2}{1,58}\right) = 0,340$$



Şekil 6. 1. Üniversitenin akademik kadro açısından bilgi içeriği.

Benzer şekilde 1. üniversite için modern, bilimsel ve teknolojik altyapı açısından bilgi içeriği hesaplanmış ve Şekil 7’de modellenmiştir.

$$I_{t1} = \log_2\left(\frac{2}{0,98}\right) = 0,340$$



Şekil 7. 1. Üniversitenin modern, bilimsel ve teknolojik altyapı açısından bilgi içeriği.

Şekil 6 ve 7’ye göre sistem aralığı ve tasarım aralığı arasındaki alanlar hesaplanmış ve bilgi içeriği formülünde kullanılmıştır. Her alternatif ve her kriter için bilgi içerikleri hesaplanarak Tablo 3 oluşturulmuştur. Aksiyomatik Tasarımda en küçük bilgi içeriğini üreten alternatif, tercih edilmesi gereken alternatif olarak kabul edilir. Tablo 3’te elde edilen sonuçlara bakıldığında en küçük bilgi içeriğine sahip alternatif 1. üniversite olduğundan bu alternatifin tercih edilmesi önerilmektedir.

Tablo 3. Üniversiteler için bilgi içeriği sonuçları.

Üniversite	<i>Iak</i>	<i>Iid</i>	<i>İk</i>	<i>It</i>	<i>Iyt</i>	$\sum I$
1. Üniversite	0,34	0	0,34	1,029	0,176	1,885*
2. Üniversite	1,454	3,184	0,34	1,029	0	6,008
3. Üniversite	0,34	0	0,34	1,029	5,644	7,353
4. Üniversite	0	0,633	0	3,556	0	4,189
5. Üniversite	0,34	0,633	0,34	0,26	0,621	2,194
6. Üniversite	2	0	0,811	0	1,644	4,455

Burada, üniversite tercihine etki eden faktörlerin eşit öneme sahip olduğu varsayılarak işlemler yapılmıştır. Ancak gerçek hayatta kriterlerin önem dereceleri birbirlerinden farklı olabilmektedir. Ağırlıklı aksiyomatik tasarım, kriterlerin farklı önem derecelerine sahip olması durumunda kullanılabilir. Aşağıdaki bölümde buna yer verilmiştir. Öncelikle, kriterlerin ağırlıkları normal AHP ile değilde bulanık AHP yöntemi ile hesaplanmıştır. Bulanık AHP, karar vericilerin dilsel olarak ifade ettikleri önem derecelerini ele alarak işlem yapabildiği için tercih edilmiştir. Bununla birlikte önem derecelerini bulmada bu yöntemin oldukça yaygın olarak kullanılmasının sebebi ise yöntemin etkili ve kolay sonuç vermesi olarak gösterilebilir.

3.2 Ağırlıklı bulanık aksiyomatik tasarım uygulaması

3.2.1 Ağırlıkların bulanık AHP ile hesaplanması

Karar vermede etkili olan kriterler her zaman eşit önem derecesine sahip olmayabilir. Böyle durumlarda ağırlıklı bulanık Aksiyomatik Tasarıma başvurulabilir. Bu yöntemde öncelikle her kriter için ağırlıklar hesaplanmalıdır. Burada ağırlıklar bulanık AHP yöntemi ile elde edilmiştir. Literatürde bu yöntemle ilgili oldukça zengin kaynak bulunduğu için burada detayları verilmemiştir. Hesap edilen ağırlıklar Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Bulanık AHP kullanılarak hesap edilen ağırlıklar.

Kriterler	Ağırlıklar
Akademik Kadro	0,321
İş Dünyası İle Etkileşim	0,202
Sosyal Kültürel Olanaklar	0,031
Modern, Bilimsel, Teknolojik Altyapı	0,242
Yurt İmkânı	0,204

Ağırlıklandırılmış bulanık Aksiyomatik Tasarımın normal Aksiyomatik Tasarımdan tek farkı hesaplanan bilgi içeriklerine ağırlıkların dahil edilmesidir. Örnek olması açısından Denklem 9’a göre birkaç ağırlıklandırılmış bilgi içeri hesabı verilmiştir.

Birinci Üniversite için akademik kadro bilgi içeriği;

$$0 \leq 0,340 \leq 1 \quad I = \log_2 (2 / 1,58)^{(1/0,321)} = 0,0346$$

İkinci Üniversite için akademik kadro bilgi içeriği;

$$1,454 \geq 1 \quad I = \log_2(1,454^{0,321}) = 1,1276$$

Ağırlıklandırılmış bilgi içeriği hesabında normal bulanık Aksiyomatik Tasarımdan gelen bilgi içeriklerinin 1'den küçük olması, 1'e eşitliği, veya 1'den büyük olma durumuna göre bilgi içeriği hesabı değişmektedir. Tablo 5'de Bulanık AHP ile ağırlıkları hesaplanarak elde edilen bilgi içeriği sonuçlarına baktığımızda bilgi içeriği toplamı en düşük değere sahip olan 5. üniversitenin tercih edilmesi önerilmektedir.

Tablo 5. Ağırlıklandırılmış bulanık aksiyomatik tasarım için bilgi içeriği sonuçları.

Üniversite	<i>Iak</i>	<i>Iid</i>	<i>İk</i>	<i>It</i>	<i>Iyt</i>	$\sum I$
1. Üniversite	0,0346	0,0000	0,0000	1,0070	0,0002	1,042
2. Üniversite	1,1276	1,2632	0,0000	1,0070	0,0000	3,398
3. Üniversite	0,0346	0,0000	0,0000	1,0070	1,4236	2,465
4. Üniversite	0,0000	0,1033	0,0000	1,3599	0,0000	1,463
5. Üniversite	0,0346	0,1033	0,0000	0,0039	0,0969	0,239*
6. Üniversite	1,2489	0,0000	0,0012	0,0000	1,1068	2,357

Bulanık aksiyomatik tasarım ve ağırlıklı bulanık aksiyomatik tasarım ile yapılan sıralamanın karşılaştırma sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Yapılan aksiyomatik tasarım çalışmalarının karşılaştırılması.

Üniversiteler	Bulanık Aksiyomatik Tasarım	Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım
1. Üniversite	1. Sırada	2. Sırada
2. Üniversite	5. Sırada	6. Sırada
3. Üniversite	6. Sırada	5. Sırada
4. Üniversite	3. Sırada	3. Sırada
5. Üniversite	2. Sırada	1. Sırada
6. Üniversite	4. Sırada	4. Sırada

Tablo 6'da verilen sonuçlara göre bulanık aksiyomatik tasarım uygulandığında 1. Üniversitenin tercih edilmesi önerilmektedir. Ancak ağırlıklı bulanık aksiyomatik tasarım uygulandığında ise 5. Üniversitenin tercih edilmesi önerilmektedir. Kriterlerin önem derecelerinin farklı olduğu göz önünde bulundurularak yapılan ikinci değerlendirmede farklı alternatifin önerilmesi beklenen bir durumdur. Burada hem kriterlerin önemlerinin eşit düzeyde olması, hem de farklı düzeyde olması durumlarında aksiyomatik tasarımın kullanılabileceği ve çeşitli çok kriterli karar verme problemleri için de etkili olacağı gösterilmiştir.

4. Sonuç

Bulanık Aksiyomatik Tasarımda sistem ve tasarım aralığı arasındaki alan hesaplanarak aslında istenilen kriterleri en iyi düzeyde karşılayan alternatifleri tespit edebilme amaçlanır. Böylelikle Aksiyomatik Tasarımın istenilen kriterleri daha yüksek oranda

karşılayan alternatifini bulabilmesi, onu bu yönüyle diğer çok kriterli karar verme tekniklerinden ayırır.

Üniversite seçimi öğrencilerin gelecek hayatlarını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Her üniversitenin kendine ait bir altyapısı ve olanakları mevcuttur. Üniversite seçimini etkileyen kriterler sayısal olarak ifade edilemediği durumlarda dilsel olarak ifade edilir.

Bu çalışmada öncelikle uzman kişiler tarafından üniversite seçimini etkileyen kriterlerin tasarım aralıkları belirlenmiş ve ardından her üniversite için o üniversitede okuyan öğrencilere danışılarak sistem aralıkları belirlenmiştir. Sistem ve tasarım aralıkları belirlendikten sonra ortak alanlar hesaplanarak bilgi içerikleri hesaplanmıştır.

Gerçek hayatta her bir kriterin ağırlığı aynı olmayacağından ikinci bir uygulama olarak Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım uygulaması gerekmektedir. Bunun için 6 öğrenciden kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini kıyaslamaları istenmiş ve her kriter için Bulanık AHP metoduyla ağırlıklar hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Ağırlıklandırılmış Bulanık Aksiyomatik Tasarım ile Bulanık Aksiyomatik Tasarım uygulamalarında hesaplanan toplam bilgi içeriklerinin farklı olduğu, seçilen üniversite tercihinin değiştiği gözlemlenmiştir. Gerçek hayatta kriterlerin önem dereceleri görece birbirlerinden farklı olabileceği için her iki uygulamada da aynı alternatifin önerilmemesi olası bir durumdur. Burada hem kriterlerin önemlerinin eşit düzeyde olması, hem de farklı düzeyde olması durumlarında aksiyomatik tasarımın kullanılabilmesi gösterilmiştir. Çeşitli kriterlere sahip farklı karar problemlerinde de bulanık aksiyomatik tasarım yöntemi kullanılabilir.

Kaynakça

- [1] Sarıkaya, T. ve Khorshid, T., Üniversite öğrencilerinin meslek seçimini etkileyen etmenlerin incelenmesi: Üniversite öğrencilerinin meslek seçimi, **Türk Eğitim Bilimleri Dergisi**, 7(2), 393-423, (2009).
- [2] Yaman, T. T., & Çakır, Ö., Üniversite tercihlerini etkileyen faktörlerin seçime dayalı konjoint analizi ile belirlenmesi, **MAKÜ-Uygulamalı Bilimler Dergisi**, 65-84, (2017).
- [3] Veloutsou, C., and, J. W., & Paton, R. A., University selection: information requirements and importance, **International Journal of Educational Management**, (2006).
- [4] Fuller, M. A., & Delorey, R., Making the choice: University and program selection factors for undergraduate management education in Maritime Canada, **The International Journal of Management Education**, 176-186, (2016).
- [5] Polat, S., The factors that students consider in university and department selection: A qualitative and quantitative study of Kocaeli University, Faculty of Education students, **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 2140 – 2145, (2012).
- [6] Özel, B., & Özyörük, B., Bulanık aksiyomatik tasarım ile tedarikçi firma seçimi, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 22(3), 415-423, (2007)
- [7] Batur, D.G., Özyürek, B., Aksiyomatik tasarım ile tedarikçi seçimi: bebek maması üretimi için türkiye'de bir uygulama, **Bilişim Teknolojileri Dergisi**, 11(2), 195-201, (2018).

- [8] Chang, D.-Y., Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, **European Journal of Operational Research**, 95(3), 649-655, (1996).
- [9] Güner, H., Bulanık AHP ve Bir İşletme için Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, (2005).
- [10] Mahmoodzadeh, S. J., Project Selectionby Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique, **World Academy of Science, Engineering and Technology** , Vol:30; 333-338, (2007)
- [11] Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z., Multi-criteria Supplier Selection Using Fuzzy AHP, **Logistics Information Management**, 16(6); 382-394, (2003).
- [12] Suh, N. P., Axiomatic Design Theory for Systems, **Research in Engineering**, 189–209, (1998).
- [13] Suh, N.P., Axiomatic Design—Advances and Applications, Oxford University Press, New York, (2001).
- [14] Murat Y.Ş. ve Kulak O., Ulaşım Ağlarında Bilgi Aksiyomu Kullanılarak Güzergah (Rota) Seçimi, **Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 11(3), (2005).
- [15] Osman Kulak, C. K., Fuzzy multi-attribute selection among transportation, **Information Sciences**, 191–210, (2005).

Yeni 3,5-disübstitüe-2-pirazolin türevlerinin sentezi ve biyolojik aktivitelerinin incelenmesi

Nuran KAHRİMAN*

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Trabzon, Türkiye

Geliş Tarihi (Received Date): 26.03.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 26.08.2019

Öz

Bu çalışmada elektronca zengin azot atomu içeren 5 üyeli heterosikliklerden biri olan pirazolin türevi 3 adet yeni bileşik kalkanlardan başlanarak sentezlendi. Pirazolinlerin sahip oldukları biyolojik ve farmakolojik özelliği sebebiyle bu bileşiklerin DPPH radikal süpürme ve fosfomolibdenyum indirgeyici güç (PRAP) aktiviteleri ile tirozinaz ve α -glukozidaz enzim inhibisyon aktiviteleri araştırıldı. Elde edilen veriler doğrultusunda 4 ($IC_{50}=16.68 \pm 0.19 \mu M$) ve 6 ($IC_{50}=22.60 \pm 0.83 \mu M$) nolu bileşiklerin standart kojik asitten ($IC_{50}=35.41 \pm 0.19 \mu M$) daha iyi tirozinaz inhibisyon aktiviteye sahip oldukları belirlendi. Bileşiklerin α -glukozidaz enzim inhibisyon aktiviteleri çok yüksek olmamakla birlikte 4 ($IC_{50}=134.24 \pm 2.51 \mu M$) nolu bileşik en yüksek aktiviteyi gösterdi. Bileşiklerin antioksidan aktivite değerlerine bakıldığında ise 5 nolu bileşik en yüksek DPPH radikal süpürme (%67.59 \pm 0.44) ve fosfomolibdenyum indirgeyici güç (PRAP, Abs= 0.815 \pm 0.009) aktivitesini sergiledi. Sonuç olarak bileşik yapılarında farklılık gösteren $-NH_2$ grubunun bağlanma pozisyonu, bileşiklerin biyolojik özelliklerinde belirgin bir farklılığa sebep olmuştur.

Anahtar kelimeler: Pirazolin, tirozinaz ve α -glukozidaz inhibisyonu, DPPH ve PRAP antioksidan aktivite.

Synthesis and biological activity investigation of new 3,5-disubstituted-2-pyrazoline derivatives

Abstract

In this study 3 new pyrazolines, one of the electron-rich nitrogen containing heterocyclics, derivative compounds were synthesized starting from chalcones. Due to the biological and pharmacological properties of pyrazolines, DPPH radical

* Nuran KAHRİMAN, nuran_yayli@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-9729-433X>

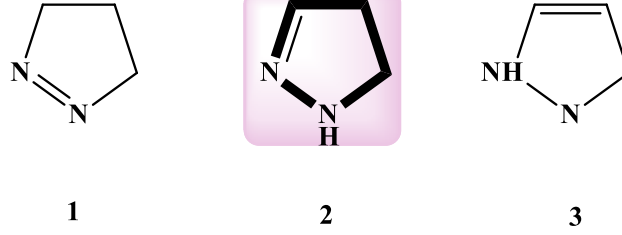
scavenging and phosphomolybdenum reducing power (PRAP) activities and tyrosinase and α -glycosidase enzyme inhibition activities of these compounds were investigated . Based on the obtained results, it was determined that compounds **4** ($IC_{50} = 16.68 \pm 0.19 \mu M$) and **6** ($IC_{50} = 22.60 \pm 0.83 \mu M$) had better tyrosinase inhibitory activities than standard kojic acid ($IC_{50} = 35.41 \pm 0.19 \mu M$). Although the α -glucosidase enzyme inhibition activities of the compounds were not very high, compound **4** ($IC_{50} = 134.24 \pm 2.51 \mu M$) showed the highest activity. When the antioxidant activity values of the compounds were examined, compound **5** showed the highest DPPH radical scavenging ($67.59 \pm 0.44\%$) and phosphomolybdenum reducing power (PRAP, Abs = 0.815 ± 0.009) activities. As a result, the binding position of the $-NH_2$ group, which differed in the compound structures, also caused a significant difference in the biological properties of the compounds..

Keywords: Pyrazoline, tyrosinase and α -glycosidase inhibition, DPPH and PRAP antioxidant activity.

1. Giriş

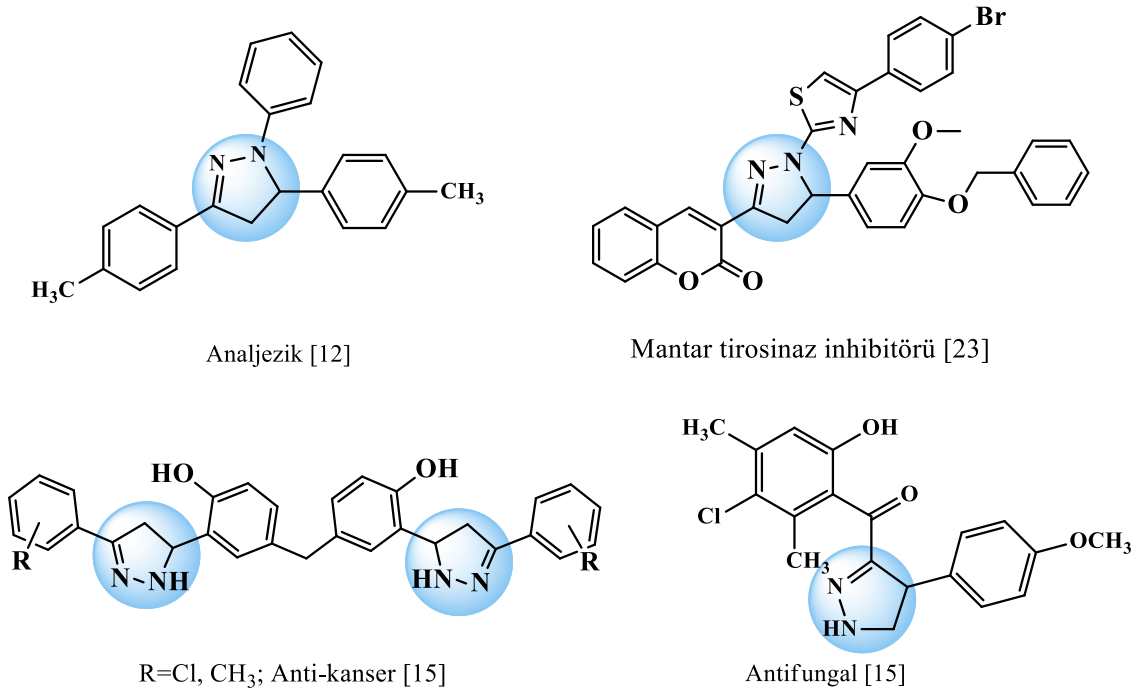
Tirozinaz, tıpta ve kozmetikte oldukça önemli bir enzim olup melanin sentezinin aşırı olmasından oluşan cilt lekesi gibi hiperpigmentasyon problemlerinde önemli role sahiptir [1]. Melaninin aşırı sentezi mantar, meyve ve sebze de meydana gelen enzimatik esmerleşmenin de sebebi olup bu durum ürünlerin ticari değerini düşürmekte ve zirai alanda da büyük sıkıntı oluşturmaktadır [2]. Tirozinaz inhibitörü bileşikler ise deride, bitkilerde pigmentasyonu önleyici ve güneş yanıkları sonrası deri beyazlatıcı etkilerinden dolayı üzerinde uzun yıllardır çalışılan konulardan biri olup güvenilir ve etkili tirozinaz inhibitörleri tıp, kimya, biyoloji, zirai bilimler ve farmakoloji alanında bir çok bilim adamının ilgisini çekmiştir [3-4]. Bir başka enzimatik problem olan Diabetes mellitus; ise günümüzde, sıklığı ve yarattığı sorunlar nedeniyle tüm dünyada önemi gittikçe artan bir sağlık sorunudur [5]. α -Glukozidaz enziminin yol açtığı Diabetes mellitus tedavisinde ise inhibitör ajanlar iş görmektedir. Bu sebeple birçok bilim adamı yeni inhibitörlerin keşfinde ve sentezinde önemli çalışmalar yapmaktadırlar [6]. Özellikle elektronca zengin azot atomu içeren heterosiklik bileşikler enzim inhibisyonunun da yer aldığı geniş biyolojik özellikleri ile son yılların ilgi odağı haline gelmiştir [6-7].

Elektronca zengin azot atomu içeren heterosiklikler çeşitli biyolojik aktivitelerde önemli role sahiptirler. Bir heterosiklik sistem olan pirazolin türevi bileşikler, kalkonlardan başlanılarak sentezlenebilen [8-11], 1 ve 2 pozisyonunda azot içeren 5 üyeli heterosiklik sistemler olup biyolojik olarak büyük öneme sahiptirler [12]. Bu bileşikler doğada alkaloid, vitamin, pigment, hayvan ve bitki hücre bileşenleri olarak değişik formlarda doğada yaygın bir şekilde bulunmaktadırlar [13]. Pirazolin (dihidropirazol) halka sistemi 3 farklı tautomerik forma sahip olup [14] bu çalışmada Δ^2 -pirazolin (2) türevlerinin 3,5-disüstitüe türevleri sentezlenmiştir.



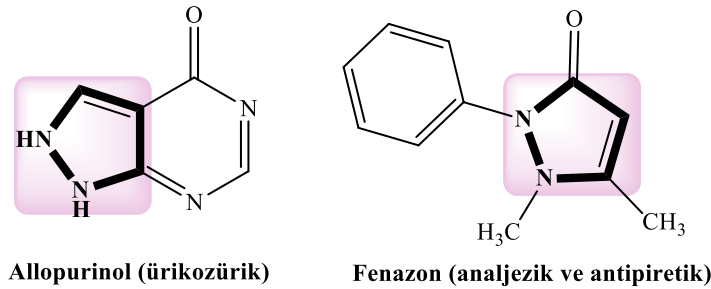
Şekil 1. Pirazolinin tautomerik formları [14].

Bu bileşikler bir çok ilacın temel yapısını oluşturmaktadırlar [9, 12, 15]. Göstermiş oldukları antikanser [16-18], antibakteriyal [19], antifungal [9], antiinflamatuvar [20], antidepressan [9,12], zirai ilaç [10], antidiabetik [21], analjezik [19-20], antitüberküler [12], antiviral [12], antioksidan [15], MaO [12], topoizomeraz I & II [22], tirozinaz [17, 23] inhibitörü vb. özellikleri farmakoloji, tıp ve ziraatte bu bileşikleri öne çıkarmıştır.



Şekil 2. Literatürde bulunan bazı biyoaktif pirazolin türevleri.

Fenazon/ amidopiren/ metampiron (analjezik ve antipiretik), azolid/ tandearil (anti-inflamatuvar), indoksakarb (insektisit) ve anturan/allopurinol (ürikozürük) molekülleri ilaç olarak kullanılan sayısız biyoaktif pirazolin sınıfı bileşiklerden sadece bir kaçıdır [24].



Şekil 3. Pirazolin halka sistemi içeren bazı ilaçlar.

Literatürde, pirazolin sınıfı bileşiklerin değişik şekilde sentezleri mevcuttur [9, 10, 24]. Kalkonlar da, bu bileşiklerin sentezinde önemli çıkış bileşikleridir [9-11]. Kalkonlar, 1,3-diaril-2-propen-1-on iskeletini içerdikleri için birçok bileşik sınıfının sentezinde çıkış olarak kullanılan özellikle de 5, 6 ve 7 üyeli heterosiklik bileşiklerin sentezin de uygun ara ürünlerdir [9-10].

Bu çalışmada amino süstitüe asetofenonlar ve hidroksi süstitüe benzaldehitten yola çıkarak sentezlenen kalkonların hidrazinle Michael katılması üzerinden verdikleri halkalaşma reaksiyonları sonucu pirazolin bileşiklerinin (4-6) sentezi gerçekleştirilmiş ve bu bileşiklerin DPPH radikal süpürme ve fosfomolibdenyum indirgeyici güç (PRAP) aktiviteleri ile tirozinaz ve α -glukozidaz enzim inhibisyon aktiviteleri araştırılmıştır.

2. Deneysel çalışmalar

2.1. Çözücüler ve kimyasallar

Bileşiklerin sentezinde kullanılan 2'/3'/4'-aminoasetofenon, 3-hidroksibenzaldehit, sodyum hidroksit, hidrazin monohidrat ve asetik asit Merck ve Sigma-Aldrich marka olup analitik saflıktadır. Sentezde, saflaştırmada ve diğer enstrümental cihazlarda analiz yapılırken kullanılan etanol, kloroform, dietil eter, etil asetat, hegzan, aseton gibi çözücüler Merck ve Sigma-Aldrich marka olup analitik saflıktadır. Yine NMR alınırken kullanılan DMSO-d₆ da Sigma-Aldrich marka olup %99.8 saflıktadır. Antioksidan, tirozinaz ve α -glukozidaz enzimlerinin aktivite ölçümleri için kullanılan akarboz, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), gallik asit (GA), etanol, trizma-baz, etilendiamintetraasetik asit fosfomolibdik asit, tirozinaz, L-DOPA, kojik asit, tirozinaz enzimi (E.C.1.14.18.1), α -glukozidaz enzimi (E.C.3.2.1.20) kimyasalları da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)'dan satın alınmıştır.

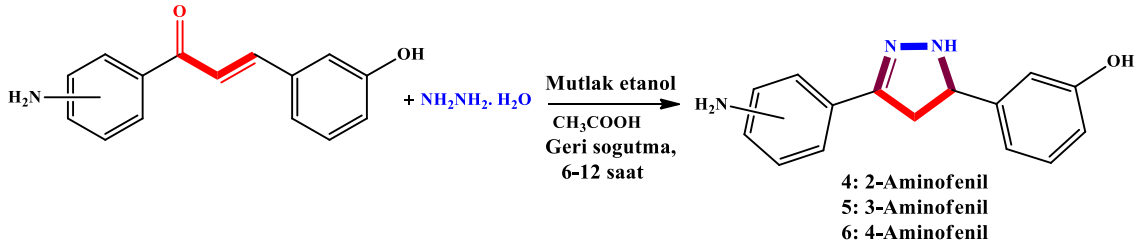
2.2. Enstrümantasyon

Sentezlenen bileşiklerin NMR spektrumları Bruker marka 400 MHz NMR cihazında alınmıştır. IR spektrumları Perkin-Elmer 1600 FT-IR (4000-400 cm⁻¹) spektrofotometre cihazı, kütle spektrumları Micromass Quattro LC-MS/MS spektrofotometre cihazı kullanılarak alınmıştır. Reaksiyon ilerleyişinde ince tabaka kromatografisi kullanılmış (İTK), saflaştırma aşamasında ise kristallendirme yapılmıştır. Erime noktaları Stuart marka SMP10 model erime noktası tayin cihazı kullanılarak belirlenmiştir. ¹H-NMR spektrumları TMS pikine göre, APT NMR spektrumları ise DMSO-d₆ (δ 39.7 ppm) çözücü pikine göre ayarlanmıştır. Kütle spektrumları elektron sprey (ES) yöntemi kullanılarak alınmıştır. İnce tabaka kromatografisinde (İTK) normal faz silikajel 60 F₂₅₄ kullanılmıştır. İnce tabakadaki ayrılmaların kontrolü için kabin içinde bulunan 254 nm'lik UV lamba kullanılmıştır. NMR spektrumları alınırken çözücü olarak DMSO-d₆ kullanılmıştır. Numuneler kuartz NMR tüplerine konularak ölçümler yapılmıştır. FT-IR spektrumları katı numuneler üzerinden ve 400-4000 cm⁻¹ bölgesinde ölçümler yapılarak alınmıştır.

2.3. Bileşiklerin sentezi

3,5-Disüstitüe-2-pirazolin bileşiklerinin sentezlenmesinde ilk olarak çıkış bileşikleri olan amino ve hidroksi süstitüe kalkon bileşiklerinin (1-3) sentezi Claisen-Schmidt kondenzasyonu kullanılarak gerçekleştirildi. Bu bileşikler bilinen bileşikler olup detaylı sentezleri literatürde mevcuttur [19].

3,5-disübstitüe-2-pirazolin bileşiklerinin sentezi için ise elde edilen kalkon bileşiklerinden (**1-3**) ayrı ayrı alınan 10 mmol'lük kısımlar 20 mL kuru etanolde çözülerek üzerine stokiyometrik miktarda hidrazin monohidrat ve 2 mL glasiyel asetik asit ilave edilmiştir. Reaksiyon ilerleyişi İTK ile kontrol edilip tamamlanan reaksiyonlar bir gece kendi halinde bekletilmiştir. Oluşan kristaller süzülüp soğuk etanolla yıkandıktan sonra kurutulmuş, İTK ile saflık kontrolü yapılmış ve spektroskopik yöntemlerle yapısı aydınlatılmıştır. Tüm spektroskopik veriler hedeflenen yapıları doğrular niteliktedir.



Şekil 4. 4-6 Nolu bileşiklere (pirazolinler) ait sentez şeması.

2.4. Antioksidan yöntemler

2.4.1. DPPH Radikal süpürme aktivitesinin belirlenmesi

Numunelerin 2,2-difenil-1-pikril hidrazil (DPPH) radikal süpürme aktivitesi, Blios yöntemine göre gerçekleştirilmiştir [25]. Kısaca, 0.4 mM DPPH'in metanoldeki çözeltisi üzerine bileşikler ilave edildi. Karanlık bir ortamda oda sıcaklığında 30 dakika inkübasyonun ardından 517 nm'de absorbans ölçülmüştür ($A_{\text{örnek}}$). 0.4 mM 1 mL DPPH metanoldeki çözeltisinin 517 nm'deki absorbansı ölçülmüştür (A_{kontrol}). Standart olarak gallik asit (GA) kullanılmıştır. DPPH serbest radikal süpürme aktivitesi, DPPH radikallerinin inhibisyonu (% I) şeklinde farklı konsantrasyonları için 1 numaralı formülden hesaplanmıştır. Tüm deneyler üç tekrarlı gerçekleştirilmiş ve standart sapması (SD) hesaplanmıştır.

$$\% \text{ inhibisyon} = \frac{A_{\text{kör}} - A_{\text{örnek}}}{A_{\text{örnek}}} \times 100$$

Formül 1

2.4.2. Fosfomolibdenyum indirgeyici antioksidan kapasite ölçümü (PRAP)

Fosfomolibdenyum indirgeyici antioksidan kapasite ölçüm yöntemi %10'luk fosfomolibdik asit kullanılarak hesaplandı ve standart bileşik olarak kuersetin kullanılmıştır [26]. İlk olarak etanol içerisinde %10'luk fosfomolibdenyum çözeltisi hazırlandı ve son hacim 1 mL olacak şekilde örnekler çözeltiliye ilaveye edilmiştir. Karışım 80 °C'de 30 dakika inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda karışımların absorbansları 600 nm'de okundu ve kuersetin ile karşılaştırılarak fosfomolibdenyum indirgeyici antioksidan kapasitesi belirlenmiştir. Tüm deneyler üç tekrarlı gerçekleştirilmiş ve standart sapması (SD) hesaplanmıştır.

2.5. Enzim inhibisyonları

2.5.1. Tirosinaz inhibisyonu

Bileşiklerin tirosinaz inhibisyon kapasitesi, Masuda ve ark. tarafından geliştirilen, 3,4-dihidroksi-L-fenilalanin'in (L-DOPA) substrat olarak kullanıldığı modifiye dopakrom yöntemi ile spektrofotometrik olarak tayin edilecektir [27]. Standart olarak alfa-kojik asit'in kullanıldığı deneyler, 96 kuyucuklu mikropalak kullanılarak mikropalak okuyucuda

(Uv-Spektrofotometre, Multiskan Go) gerçekleştirilmiştir. Deney protokolüne göre; hazırlanan bileşiklerin her birinden 20 µL alınarak, daha önceden her birine 100 µL fosfat tamponu (pH 6.8) eklenmiş kuyucuklara ilave edilmiştir. Bunun üzerine 20 µL 250 U/mL tirozinaz enzimi ve 20 µL L-DOPA çözeltisi ilave edilmiştir. 10 dakika inkübasyon süresinden sonra, mikroplaklar spektrofotometre cihazına yerleştirilerek, örnekler ve kontrolün absorbansları 475 nm dalga boyunda okunadu ve tirozinaz inhibisyonları Formül 1'e göre hesaplanmıştır. Tüm deneyler üç tekrarlı gerçekleştirilmiş ve standart sapması (SD) hesaplanmıştır.

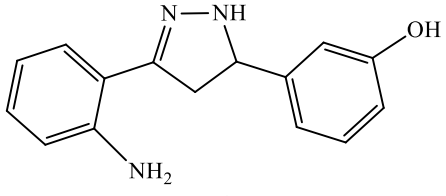
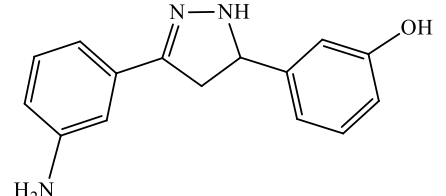
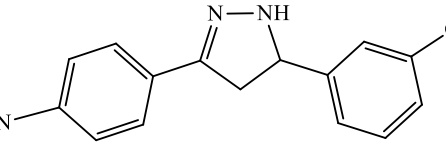
2.5.2. α -Glukozidaz inhibisyonu

Bileşiklerin α -glukozidaz inhibisyon özellikleri literatürde bulunan yöntemlerde küçük modifikasyonlar gerçekleştirilerek incelenmiştir [28]. Akarboz standart bileşik olarak kullanılmıştır. Kısaca 100 µL 0.5 U/mL α -glukozidaz enzimi ve bileşiklerin çeşitli konsantrasyonlarını içeren mikroplakalar 15 dakika oda sıcaklığında inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra substrat çözeltisi olarak 50 µL 5 mM 4-nitrofenil- α -D-glukopiranozit ilave edilmiştir. 15 dakika inkübasyona bıraktıktan mikroplaka okuyucu yardımıyla 405 nm'de absorbansı ölçüldükten sonra bileşiklerin formül 1 kullanılarak IC₅₀ değeri hesaplanmıştır.

3. Bulgular

Yapılan çalışmanın ilk kısmında 6 adet bileşik sentezlenmiş olup bunların 3 tanesi (4-6) literatürde bulunmayan yeni 3,5-disübstitüe-2-pirazolin türevi bileşiklerdir. Bu bileşiklerin yapıları ve adlandırılmaları (Tablo 1), verim, erime Noktası, Rf, NMR, FT-IR ve LC-MS/MS değerleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Sentezlenen 4-6 nolu 3,5-disübstitüe-2-pirazolin türevlerinin yapıları ve IUPAC adlandırılmaları.

 <p style="text-align: center;">4</p>	<p>3-[3-(2-aminofenil)-4,5-dihydro-1H-pirazol-5-il]fenol ya da 3-(2-aminofenil)-5-(3-hidroksifenil)-2-pirazolin</p>
 <p style="text-align: center;">5</p>	<p>3-[3-(3-aminofenil)-4,5-dihydro-1H-pirazol-5-il]fenol ya da 3-(3-Aminofenil)-5-(3-hidroksifenil)-2-pirazolin</p>
 <p style="text-align: center;">6</p>	<p>3-[3-(4-aminofenil)-4,5-dihydro-1H-pirazol-5-il]fenol ya da 3-(4-Aminofenil)-5-(3-hidroksifenil)-2-pirazolin</p>

4.1. Sentezlenen Bileşiklere Ait Verim, Erime Noktası, Rf, NMR, FT-IR ve LC-MS/MS Değerleri

4.1.1. 3-[3-(2-aminofenil)-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il]fenol (4)

Renk: Açık sarı katı; **Verim (%):** 83; **Erime noktası (°C):** 196-198; **Rf:** 0.75 (Eter-etil asetat: 1:1).

FT-IR (cm⁻¹): 3671 (O-H), 3471 (N-H), 3384 ve 3326 (NH₂), 3061 (Ar-H), 2979-2879 (Alp.C-H), 1621 (C=N), 1594 (C=C), 1260 (C-N).

¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD/DMSO-d₆, ppm): δ=2.74-2.67 (dd, J=16.0/ 8.0Hz, 1H, H-4_A); δ= 3.33-3.26 (dd, J=16.0/ 8.0 Hz, H-4_B); δ= 4.64 (dd, J=10.0/ 8.0 Hz, 1H, H-5); δ= 6.75 (s, 1H, H-2'); δ= 6.63 (d, 8.0 Hz, 1H, H-4'); δ= 7.12 (t, J=8.0 Hz, 1H, H-5''); δ= 6.73 (d, J=8.0 Hz, 1H, H-6'); δ= 6.70 (d, J= 8.0 Hz, 1H, H-3''); δ= 7.32 (t, 7.8 Hz, 1H, H-4''); δ= 6.60 (t, J=7.8 Hz, 1H, H-5''); δ= 7.12 (d, J=7.8 Hz, 1H, H-6'').

¹³C-NMR (100 MHz, DMSO-d₆, ppm): 151.5 (C-3), 42.1 (C-4), 61.9 (C-5), 144.7 (C-1'), 113.3 (C-2'), 157.4 (C-3'), 114.7 (C-4'), 129.3 (C-5'), 117.3 (C-6'), 114.3 (C-1''), 147.0 (C-2''), 114.0 (C-3''), 128.5 (C-4''), 114.8 (C-5''), 128.4 (C-6'').

Pozitif LC-MS/MS m/z (%): 253 (100) [M]⁺, 239 (55) [M-NH₂]⁺.

4.1.2. (3-[3-(3-aminofenil)-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il]fenol (5)

Renk: Beyaz amorf katı; **Verim (%):** 66; **Erime noktası (°C):** 192-194; **Rf:** 0.70 (Eter-etil asetat: 1:1).

FT-IR (cm⁻¹): 3671 (O-H), 3470 (N-H), 3384 ve 3326 (NH₂), 3055 (Ar-H), 2988-2901 (Alp.C-H), 1634 (C=N), 1593 (C=C), 1256 (C-N).

¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD/DMSO-d₆, ppm): δ=2.72-2.66 (dd, J=16.0/ 8.0Hz, 1H, H-4_a); δ= 3.35-3.27 (dd, J=16.0/ 8.0 Hz, H-4_b); δ= 4.64 (dd, J=10.0/ 8.0 Hz, 1H, H-5); δ= 6.78 (s, 1H, H-2'); δ= 6.60 (d, 8.0 Hz, 1H, H-4'); δ= 7.10 (t, J=8.0 Hz, 1H, H-5''); δ= 6.74 (d, J=8.0 Hz, 1H, H-6'); δ= 6.68 (s, 1H, H-2''); δ= 6.62 (d, 7.8 Hz, 1H, H-4''); δ= 7.18 (t, J=7.8 Hz, 1H, H-5''); δ= 7.22 (d, J=7.8 Hz, 1H, H-6'').

¹³C-NMR (100 MHz, DMSO-d₆, ppm): 149.3 (C-3), 40.8 (C-4), 63.3 (C-5), 144.8 (C-1'), 110.9 (C-2'), 157.4 (C-3'), 113.2 (C-4'), 129.4 (C-5'), 114.3 (C-6'), 133.7 (C-1''), 113.8 (C-2''), 148.6 (C-3''), 114.1 (C-4''), 128.9 (C-5''), 117.2 (C-6'').

Pozitif LC-MS/MS m/z (%): 253 (100) [M]⁺, 239 (30) [M-NH₂]⁺.

4.1.3. 3-[3-(4-aminofenil)-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il]fenol (6)

Renk: Parlak beyaz kristal; **Verim (%):** 88; **Erime noktası (°C):** 224-227; **Rf:** 0.70 (Eter-etil asetat: 1:1).

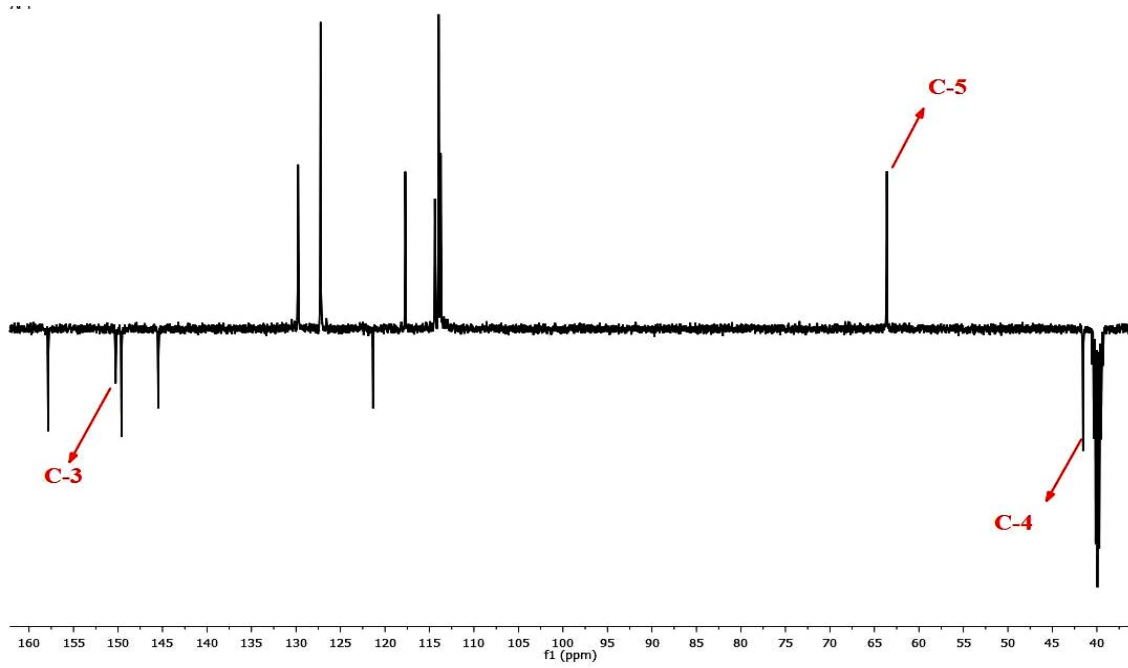
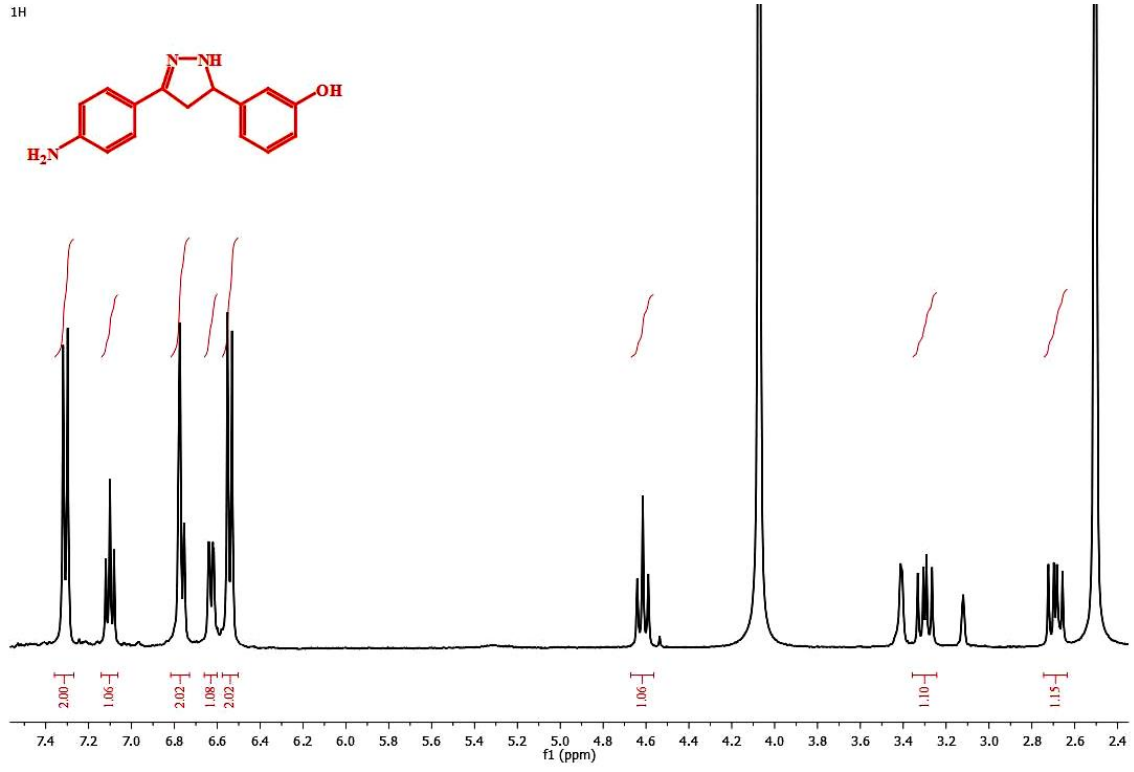
FT-IR (cm⁻¹): 3671 (O-H), 3470 (N-H), 3382 ve 3326 (NH₂), 3062 (Ar-H), 2979-2879 (Alp.C-H), 1619 (C=N), 1588 (C=C), 1259 (C-N).

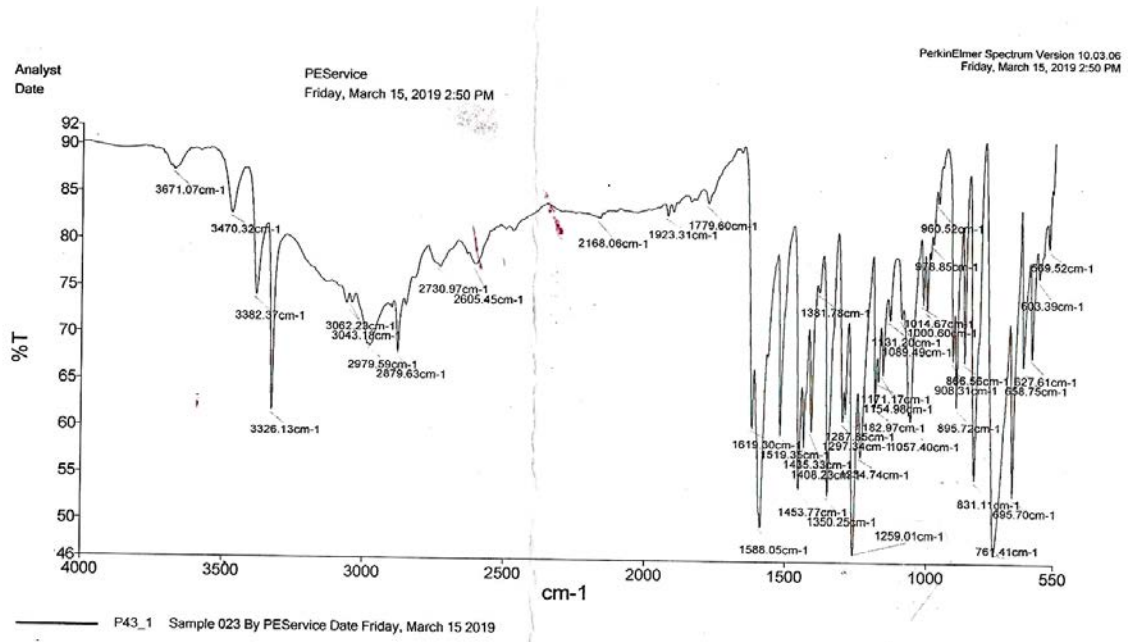
¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD/DMSO-d₆, ppm): δ=2.72-2.66 (dd, J=16.0/ 8.0Hz, 1H, H-4_a); δ= 3.33-3.27 (dd, J=16.0/ 8.0 Hz, H-4_b); δ= 4.62 (dd, J=10.0/ 8.0 Hz, 1H, H-5); δ= 6.77 (s, 1H, H-2'); δ= 6.63 (d, 8.0 Hz, 1H, H-4'); δ= 7.10 (t, J=8.0 Hz, 1H, H-5''); δ= 6.76 (d, J=8.0 Hz, 1H, H-6'); δ= 7.31 (d, J=8.0 Hz, 2H, H-2''/6''); δ= 6.54 (d, J=8.0 Hz, 2H, H-3''/5'').

¹³C-NMR (100 MHz, DMSO-d₆, ppm): 150.3(C-3), 41.6 (C-4), 63.6 (C-5), 145.5 (C-1'), 113.7 (C-2'), 157.9 (C-3'), 114.4 (C-4'), 129.8 (C-5'), 117.7 (C-6'), 121.4 (C-1''), 127.2 (C-2''/6''), 149.6 (C-4''), 114.0 (C-3''/5'').

Pozitif LC-MS/MS m/z (%): 253 (100) [M]⁺.

6 Nolu bileşiğe ait NMR ve FT-IR spektrumları Şekil 5-7'de verilmiştir.



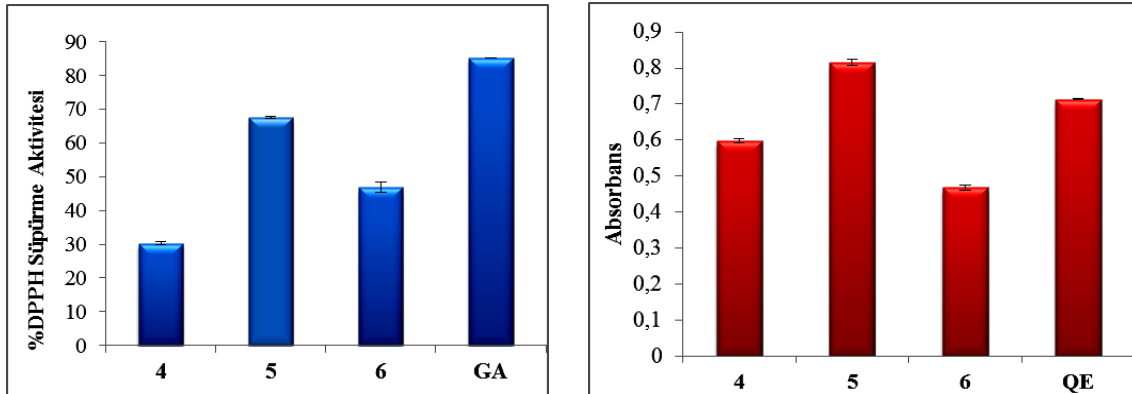


Şekil 7. 6 Nolu bileşiğin FT-IR spektrumu.

Çalışmanın ikinci kısmında ise bu bileşiklerin antioksidan ve enzim inhibisyonu özellikleri araştırılmıştır. Antioksidan aktivite tayininde DPPH radikal süpürme ve PRAP yöntemleri kullanılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 2 ve Şekil 8’de verilmiştir.

Tablo 2. Bileşiklerin 125 μ M konsantrasyonda DPPH radikal süpürme aktivitesi fosfomolibdenyum indirgeyici güç aktivitesi (PRAP).

Bileşik no	DPPH (%)	PRAP (Abs)
4	30.30 \pm 0.49	0.597 \pm 0.006
5	67.59 \pm 0.44	0.815 \pm 0.009
6	46.80 \pm 1.53	0.468 \pm 0.008
Gallik asit	85.27 \pm 0.07	-
Kuersetin	-	0.714 \pm 0.002

Şekil 8. Bileşiklerin 125 μ M konsantrasyonda DPPH radikal süpürme ve PRAP aktiviteleri.

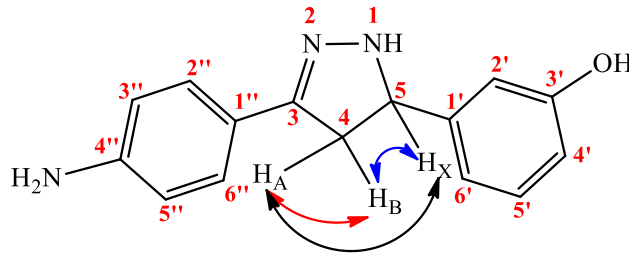
Bileşiklerin enzim inhibisyonu özelliklerinin belirlenmesinde ise tirozinaz ve α -glukozidaz enzimlerini inhibisyonları araştırıldı. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Bileşiklerin tirozinaz ve α -glukozidaz enzimlerine karşı IC₅₀ değerleri.

Bileşik no	Tirozinaz (μ M)	α -glukozidaz (μ M)
4	16.68 \pm 0.19	134.24 \pm 2.51
5	154.41 \pm 3.41	248.43 \pm 4.61
6	22.60 \pm 0.83	> 250.00
Kojik asit	35.41 \pm 0.19	-
Akarboz	-	57.97 \pm 0.34

4. Tartışma ve sonuçlar

Çalışma kapsamında ilk olarak Claisen-Schmidt kondenzasyonu ile 3 adet kalkon bileşiği (**1-3**) [19, 29-30] ve bu bileşiklerin hidrazin hidratla asit katalizli Michael katılması reaksiyonuyla da moleküller arası halkalaşma ürünü olan 3 adet yeni 3,5-disübstitüe-2-pirazolin türevi (**4-6**) sentezlenmiştir [31]. Elde edilen bileşiklerin yapıları FT-IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR (APT) ve kütle spektral verileri kullanılarak aydınlatılmıştır. **3-6** Nolu bileşiklerin FT-IR spektrumları incelendiğinde yapıda sübstitüent olarak bulunan O-H grubuna ait gerilmeler 3671 cm⁻¹ ve -NH₂ grubuna ait gerilmeler de 3384-3326 cm⁻¹ civarında keskin ikili band şeklinde görülmüştür. Pirazolin halka sisteminin varlığının en önemli kanıtı olan N-H, C=N ve C-N gerilme bantları ise sırasıyla 3471-3470, 1634-1619 ve 1256-1260 cm⁻¹ aralıklarında beklenildiği şekilde görülmüştür. LC-MS/MS spektrumlarına bakıldığında ise m/z değeri 253 olan moleküler iyon piki ([M]⁺) temel pik olarak ortaya çıkmıştır. **4-6** Nolu bileşiklerin ¹H-NMR spektrumları incelendiğinde δ 2.74-2.66 ppm (C₄-H_A) ve δ 3.35-3.26 ppm (C₄-H_B) aralıklarında dubletin dubleti (dd) ve δ 4.62-4.64 ppm civarında triplet (t) görümlü kaynaşmış dubletin dubleti yarılmalara sırasıyla pirazolin halkasına ait geminal -CH₂- ve -CH- protonlarına aittir. Bu durum diastereotopik metilen ve metin protonlarının karakteristik özelliğidir ve metilenin (C-4) özdeş olmayan H_A ve H_B protonları ile metinin (C-5) H_X protonu arasında geminal-vicinal etkileşimle ABX spin sistemini oluşturmuştur (Şekil 9) [17, 31-32].



Şekil 9. Pirazolin halkasının ABX spin sistemi.

Bileşiklerin ¹³C-NMR (APT) spektrumları incelendiğinde 150 ppm civarında çıkan kuaternerik pik halkalaşma sonucu oluşan C₃ karbonuna ait olup yine 41 ppm civarındaki -CH₂- ile 63 ppm civarındaki -CH- pikleri pirazolin halkasının en belirgin kanıtları olup yapıyı desteklemektedir. Yine başlangıç bileşikleri olan kalkonların 190

ppm civarında rezonansa gelen karbonil karbonuna ait pikin kaybolması da yapıyı destekleyen bir başka spektral veridir. Bütün bu spektroskopik sonuçlar yapıların önerildiği şekilde olduğunu doğrulamaktadır. Sentezlenen 4-6 nolu bileşiklere literatürde rastlanmamış olup, bu çalışmayla potansiyel biyoaktif bileşik türevleri sentezlenmiştir. Bileşiklerin NMR spektrumları DMSO'da çözünürlükleri iyi olduğu için DMSO-d₆'da alınmış olup ¹³C- NMR spektrumları net olmasına rağmen, bu çözücüde ¹H-NMR'da beklenen sinyal yarılmaları net bir şekilde görülebilmiştir. Bu sebeple ¹H-NMR spektrumları CD₃OD/DMSO-d₆ çözücü karışımında alınmış ve sinyal yarılmaları net bir şekilde görülmüştür. Bunun yanında molekül yapısında bulunan ve döteryum değişimine uğrayabilecek -OH, -NH ve -NH₂ protonları CD₃OD'den dolayı döteryum değişimine uğramış ve bunlara ait sinyaller spektrumda görülebilmiştir. Bu grupların varlığı ise FT-IR spektrumları ile desteklenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, pirazolinlerin sahip oldukları biyolojik ve farmakolojik özelliklerden yola çıkarak, sentezlenen yeni türevlerinde DPPH radikal süpürme ve fosfomolibdenyum indirgeyici güç (PRAP) aktiviteleri ile tirozinaz ve α -glukozidaz enzim inhibisyon aktiviteleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda DPPH ve PRAP çalışmalarında 5 nolu bileşik 125 μ M konsantrasyonda sırasıyla % 67.59 \pm 0.44 süpürme aktivitesi ve 0.815 \pm 0.009 absorbans göstererek üç bileşik arasında en yüksek DPPH radikal süpürme ve PRAP aktivitesiyle en iyi antioksidan olduğunu göstermiştir. Bileşiklerin yapı-antioksidan aktivite ilişkileri kalitatif olarak tartışıldığında her üç bileşik yapısını farklılandıran -NH₂ grubunun pozisyonu olup *meta*- pozisyonunda en yüksek aktivite sergilenmiştir. Bileşiklerin tirozinaz ve α -glukozidaz enzim inhibisyonu çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda ise; 4 nolu bileşiğin 16.68 \pm 0.19 μ M ve 6 nolu bileşiğin 22.60 \pm 0.83 μ M IC₅₀ değerleriyle standart kojik asitten (IC₅₀=35.41 \pm 0.19 μ M) daha iyi tirozinaz inhibitörleri oldukları belirlenmiştir. Bileşiklerin α -glukozidaz enzim inhibisyon aktiviteleri çok yüksek olmamakla birlikte 4 nolu bileşik en yüksek aktiviteyi (IC₅₀=134.24 \pm 2.51 μ M) göstermiştir. Yapı-enzim inhibisyonu aktivitesi genel olarak tartışıldığında ise -NH₂ grubunun *orto* pozisyonunda oluşu enzim inhibisyonunu artırmıştır. Sentezlenen 4-6 nolu bileşiklere literatürde rastlanmamış olup, bu çalışmayla potansiyel biyoaktif pirazolin türevleri sentezlenmiştir.

Teşekkür

Yapılan çalışmada biyolojik aktivite testlerindeki katkılarından dolayı Arş. Gör. Burak BARUT'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Aliyazıcıoğlu, R., Akkaya, Ş., Korkmaz, N., Şener, S. Ö., Badem, M., Özgen, U. ve Alpay Karaoğlu, Ş., *Onobrychis oxyodonta*'nın topraküstü kısmında antioksidan, antimikrobiyal ve tirozinaz inhibitör, **Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Tıp Dergisi**, 31, 1, 25-31, (2017).
- [2] Qin, H. L., Shang Z. P., Jantan, I., Unsal Tan, O., Hussain M. A., Sher, M., Bukhari ve S. N. Abbas., Molecular docking studies and biological evaluation of chalcone based pyrazolines as tyrosinase inhibitors and potential anticancer agents, **RSC Advances**, 5, 46330-46338, (2015).

- [3] Cui, H. X., Duan, F. F., Jia, S. S., Cheng, F. R. ve Yuan, K., Antioxidant and tyrosinase inhibitory activities of seed oils from *Torreya grandis* Fort. ex Lindl., **BioMed Research International**, 2018, 10 pages, (2018).
- [4] Chang, T.S., An updated review of tyrosinase inhibitors, **International Journal of Molecular Sciences**, 10, 2440-2475, (2009).
- [5] Turan, E. ve Kulaksızoğlu, M., Tip 2 diyabet tedavisinde güncel yaklaşımlar, **Okmeydanı Tıp Dergisi**, 31(Ek sayı), 86-94, (2015).
- [6] Yousefi, R., Alavian-Mehr, M. M., Mokhtari, F., Panahi, F., Mehraban, M.H. ve Khalafi-Nezhad, A., Pyrimidine-fused heterocycle derivatives as a novel class of inhibitors for α -glucosidase, **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, 28, 6, 1228-1235, (2013).
- [7] Elya, B., Basah, K., Mun'im A., Yuliastuti, W., Bangun, A. ve Septiana E. K., Screening of α -glucosidase inhibitory activity from some plants of Apocynaceae, Clusiaceae, Euphorbiaceae, and Rubiaceae, **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, 2012, 6 pages, (2012).
- [8] Colotta, V., Catarzi, D., Varano, F., Filacchioni, G. ve Cecchi, L., Synthesis and binding activity of some pyrazolo[1,5-c]quinazolines as tools to verify and optional binding site of a benzodiazepine receptor ligand, **Journal of Medicinal Chemistry**, 39, 2915-2921, (1996).
- [9] Patel, M.R., Dodiya, B.L., Ghetiya, R.M., Joshi, K.A., Vekariya, P.B., Bapodara, A.H. ve Joshi, H.S., Synthesis and antimicrobial evaluation of pyrazoline derivatives, **International Journal of ChemTech Research**, 3, 2, 967-974, (2011).
- [10] Pinto, D.C.G.A., Silva, A.M.S., Cavaleiro, J.A.S. ve Elguero, J., New bis(chalcones) and their transformation into bis(pyrazoline) and bis(pyrazole) derivatives, **European Journal of Organic Chemistry**, 4, 747-755, (2003).
- [11] Rostom, S.A.F, Badr, M.H., Abd El Razik, H.A., Ashour, H.M.A., ve Abdel Wahab, A.E., Synthesis of some pyrazolines and pyrimidines derived from polymethoxy chalcones as anticancer and antimicrobial agents, **Archiv der Pharmazie-Chemistry in Life Sciences**, 344, 572-587, (2011).
- [12] Marella, A., Ali, M. R., Alam, M. T., Saha, R., Tanwar, O., Akhter, M., Shaquiquzzaman, M. ve Alam M. M., Pyrazolines: A biological review, **Mini Reviews in Medicinal Chemistry**, 13, 6, 921-931, (2013).
- [13] Yusuf, M. ve Jain, P., Synthetic and biological studies of pyrazolines and related heterocyclic compounds, **Arabian Journal of Chemistry**, 7, 553-596, (2014).
- [14] Tanwer, N., Kaur, R., Rana, D., Singh, R. ve Singh, K., Synthesis and characterization of pyrazoline derivatives, **Journal of Integrated Science & Technology**, 3, 2, 39-41, (2015).
- [15] Bano, S., Alam, M. S., Javed, K., Dudeja, M., Das, A. K. ve Dhulap, A., Synthesis, biological evaluation and molecular docking of some substituted pyrazolines and isoxazolines as potential antimicrobial agents, **European Journal of Medicinal Chemistry**, 95, 96-103, (2015).
- [16] Amin, K. M., Eissa, A. A. M., Abou-Seri, S. M., Awadallah, F. M. ve Hassan G. S., Synthesis and biological evaluation of novel coumarinepyrazoline hybrids endowed with phenylsulfonyl moiety as antitumor agents, **European Journal of Medicinal Chemistry**, 60, 187-198, (2013).
- [17] Karabacak, M., Altıntop, M. D., Çiftçi, H. İ., Koga, R., Otsuka, M., Fujita, M., ve Özdemir, A., Synthesis and evaluation of new pyrazoline derivatives as potential anticancer agents, **Molecules**, 20, 19066-19084, (2015).

- [18] George, R. F., Fouad, M. A. ve Gomaa, I. E.O., Synthesis and cytotoxic activities of some pyrazoline derivatives bearing phenyl pyridazine core as new apoptosis inducers, **European Journal of Medicinal Chemistry**, 112, 48-59, (2016).
- [19] Viveka, S., Dinesha, Shama, P., Nagaraja, G. K., Ballav, S. ve Kerkar, S., Design and synthesis of some new pyrazolyl-pyrazolines as potential anti-inflammatory, analgesic and antibacterial agents, **European Journal of Medicinal Chemistry**, 101, 442-451, (2015).
- [20] He, J., Ma, L., Wei, Z., Zhu, J., Peng, F., Shao, M., Lei, L., He, L. ve Tang, M., Synthesis and biological evaluation of novel pyrazoline derivatives as potent anti-inflammatory agents, **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, 25, 2429–2433, (2015).
- [21] Mallikarjuna Rao, R., Sreeramulu, J., Ravindranath, L. K., Nagaraja Reddy, G., Hanumantharayudu, K., Nageswara Reddy, G., Jayaraju, A. ve Madhusudhan, P., Synthesis and biological screening of some pyridine and pyrrole derivatives of pyrazolo [3,4-c] pyrazoles, **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, 4, 1, 272-278, (2012).
- [22] Ahmad, P., Woob, H., Jun, K. Y., Kadi, A. A., Abdel-Aziz, H. A., Kwon, Y. ve Motiur Rahman, A. F. M., Design, synthesis, topoisomerase I & II inhibitory activity, antiproliferative activity, and structure–activity relationship study of pyrazoline derivatives: An ATP-competitive human topoisomerase II α catalytic inhibitor, **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, 24, 1898-1908, (2016).
- [23] Saeed, A., Mahesar, P. A., Channar, P. A., Abbas, Q., Larik, F. A., Hassan, M., Raza, H. ve Seo, S. Y., Synthesis, molecular docking studies of coumarinyl-pyrazolinyl substituted thiazoles as non-competitive inhibitors of mushroom tyrosinase, **Bioorganic Chemistry**, 74, 187-196, (2017).
- [24] Bardalai, D. ve Panneerselvam, P., Pyrazole and pyrazoline derivatives: potential anti-inflammatory and analgesic agents, **International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences**, 2, 3, 1-8, (2012).
- [25] Blois, M. S., Antioxidant determinations by the use of a stable free radical, **Nature**, 29, 1199-1200, (1958).
- [26] Falcioni, G., Fedeli, D., Diano, L., Calzuola, I., Mancinelli, L., Marsili, V. ve Gianfranceschi, G., Antioxidant activity of wheat sprouts extract in vitro: inhibition of DNA oxidative damage, **Journal of Food Science**, 67, 2918-2922, (2002).
- [27] Masuda, T., Yamashita, D., Takeda, Y. ve Yonemori, S., Screening for tyrosinase inhibitors among extracts of seashore plants and identification of potent inhibitors from *Garcinia subelliptica*, **Boscience, Biotechnology, Biochemistry**, 69, 197-201, (2005).
- [28] Şöhretoğlu, D., Sari, S., Özel, A. ve Barut, B., α -Glucosidase inhibitory effect of *Potentilla astracana* and some isoflavones: Inhibition kinetics and mechanistic insights through in vitro and in silico studies, **International Journal of Biological Macromolecules**, 105, 1062–1070, (2017).
- [29] Kahrman, N., Yılmaz İskender, N., Yücel, M., Yaylı, N., Demir, E. ve Demirbağ Z., Microwave assisted synthesis of 1,3'-diazafavanone/flavones and their alkyl derivatives with antimicrobial activity, **Journal of Heterocyclic Chemistry**, 49, 1, 71-79, (2012).
- [30] Kahrman, N., Yaylı, B., Aktaş, A., İskefiyeli, Z., Beriş, F.Ş. ve Yaylı N., Synthesis, antibacterial and antioxidant activities of new 1-Alkyl-4-(1-alkyl-4-

- oxo-1,4-dihydroquinolin-2-yl)pyridinium bromides, **European Journal of Medicinal Chemistry**, 69, 348-355, (2013).
- [31] Kahrıman, N., Şenyürek, Z., Serdarođlu, V., Beriş, F.Ş., Barut, B. ve Yaylı, N., Synthesis of novel pyrazolines, their boron–fluorine complexes, and investigation of antibacterial, antioxidant, and enzyme inhibition activities, **Archiv Der Pharmazie**, 350, 2, 1-12, (2017).
- [32] Salgın Gökşen, U., Bazı yeni 2-pirazolin türevlerinin sentezi ve monoamin oksidaz (MAO) inhibitör aktiviteleri üzerinde çalışmalar, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2015).

Harmonik bozulma şartlarında transformatör yüklenme kapasitesinin maksimizasyonu için pasif filtre tasarımı

Emine Hümeýra DEMİRCİOĞLU^{1,*}, Alp KARADENİZ²,
Murat Erhan BALCI^{2,3}

¹ Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa

²Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Çağış, Balıkesir

³Balıkesir Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Araştırma Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 04.12.2018

Kabul Tarihi (Accepted Date): 02.12.2019

Öz

Günümüzde, endüstriyel tesislerin bulunduğu dağıtım sistemlerinde harmonik bozulmaya sahip akım çeken güç elektroniği temelli yükler yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla, bu sistemlerde hat akımları ve bara gerilimleri yüksek değerlerde harmonik bozulmaya sahiptir. Harmoniklerin, güç sistem elemanlarında kayıp artışı, güç faktöründe düşüş, dönen elektrik makinalarında moment dalgalanmaları ile ölçüm ve koruma elemanlarının hatalı çalışması gibi olumsuz etkilere sebep olduğu literatürde bilinmektedir. Bu olumsuz etkileri azaltmak amacıyla harmonik bozulmayı iyileştiren pasif ve aktif filtreler tüketiciler ve enerji servis sağlayıcılar tarafından yaygın olarak uygulanmaktadır. Pasif filtrelerin tasarımında geleneksel olarak, her bir harmonik ve toplam harmonik bozulma seviyelerini ve güç faktörünü uluslararası standartlarda tavsiye edilen aralıklarda tutmanın yanı sıra akım ve/veya gerilim toplam harmonik bozulma indislerinin minimizasyonu, güç faktörünün maksimizasyonu, filtre maliyeti ve kayıplarının minimizasyonu amaçlanmıştır. Diğer taraftan, literatürdeki yeni çalışmalar, pasif filtreleri, geleneksel harmonik bozulma ve güç faktörü kısıtlarını dikkate alarak, transformatörlerin harmonik bozulma şartlarında yüklenme kapasitesini maksimize etmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu çalışmada, öncelikle, harmonik bozulmaya sahip tipik bir endüstriyel güç sistemi için transformatör yüklenme kapasitesinin maksimizasyonunu amaçlayan optimal C tipi pasif filtre tasarım probleminin çözümünde, büyük patlama büyük çöküntü, karınca aslanı optimizasyon ve yusuçuk optimizasyon algoritmaları sonuç ve hız bakımından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Daha sonra, tasarlanan optimal pasif filtrenin performansı, kaynağa ait toplam gerilim harmonik bozulmanın, hat

* Emine H. DEMİRCİOĞLU, humeyrametin@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-4296-5532>

Alp KARADENİZ, akaradeniz@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-0899-6581>

Murat Erhan BALCI, mbalci@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-8418-8917>

empedansı genliğinin ve hat empedansı X/R oranının değişkenlik gösterdiği durumlar için analiz edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Harmonikler, pasif filtreler, transformatör yüklenme kapasitesi, optimal tasarım.*

Passive filter design to maximize loading capacity of transformers under harmonically distorted conditions

Abstract

Today, power electronic-based loads, which draw harmonically distorted currents, are widely used in the industrial distribution systems. Thus, line currents and bus voltages have high harmonic distortion levels. It is known in the literature that harmonics cause adverse effects such as loss increase in power system equipment, decrease of power factor, torque pulsations in rotating electric machines, malfunction of measurement and protection devices. Accordingly, to reduce these adverse effects, harmonic mitigation devices as passive and active filters are widely employed by consumers and utilities. For designing passive filters, it is conventionally aimed to achieve different goals as minimization of current and / or voltage total harmonic distortion, power factor maximization and minimization of filter cost and losses while keeping individual / total harmonic distortion levels and power factor in the recommended intervals defined by international standards. On the other hand, recent studies in the literature have designed optimal passive filters to maximize transformer's loading capacity under harmonic distortion conditions while considering conventional optimal passive filter design constraints. In this study, firstly, for the solution of the optimal C-type passive filter design problem, which aims to maximize the loading capacity of the transformer in a typical industrial power system with harmonic distortion, the big bang big crunch, ant lion optimization and dragonfly optimization algorithms was comparatively evaluated in terms of their results and speed. And then, the performance of the designed optimal passive filter was analysed for the cases where the total harmonic distortion of the source, line impedance's magnitude, and line impedance's X/R ratio change.

Keywords: *Harmonics, passive filters, transformer's loading capacity, optimal design.*

1. Giriş

Güç elektroniği devreleriyle kontrol edilen yükler ve dağıtık üretim birimleri, modern güç sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu elemanlar, elektrik şebekelerinde hat akımlarının ve bara gerilimlerinin sinüzoidal dalga formundan önemli ölçüde uzaklaşmasına, diğer bir ifadeyle harmonik kirliliğe sahip olmasına yol açmaktadır [1, 2]. Harmonik bozulmaya sahip gerilimler ve akımlar, ölçüm ve koruma sistemlerinin hatalı çalışmasına, sistemdeki elemanların kayıplarının artmasına ve aşırı ısınmasına, güç faktöründe düşüşe ve dönen elektrik makinalarında moment dalgalanmalarına sebep olurlar [3, 4]. Bu olumsuz etkileri azaltmak amacıyla harmonik bozulmayı iyileştiren pasif veya aktif filtreler tüketiciler ve enerji servis sağlayıcılar tarafından yaygın olarak uygulanmaktadır [5, 6].

Aktif filtreler, hatta seri bağılı gerilim kaynağı veya hatta paralel bağılı akım kaynağı olarak kontrol edilebilen güç elektroniği devreleridir. Aktif filtreler, pasif filtrelerle karşılaştırıldığında, harmonik iyileştirme ve reaktif güç kompanzasyonu bakımlarından üstün performansa sahiptirler. Bununla birlikte, özellikle büyük anma güçleri için, yüksek maliyetlidirler [5, 6]. Dolayısıyla, pasif filtreler günümüz güç sistemlerinde halen yaygın olarak tercih edilmektedir [7-9].

Direnç, bobin ve kondansatör elemanlarından oluşan pasif filtreler, şebekeye bağlantı şekillerine göre, seri ve paralel olarak iki sınıfa ayrılırlar [5, 6]. Seri pasif filtreler, kaynak ve yük arasında harmonik akımının akışını engellemek için ayarlandıkları frekansta yüksek empedans gösterirler. Paralel pasif filtreler ise, yük akımı harmoniklerinin toprağa akmasını ve böylece şebeke tarafına geçmesini önleyecek şekilde tasarlanırlar. Bunun için ayarlandıkları harmonik numarasında, düşük empedans gösterirler. Paralel pasif filtreler, harmonik filtrelemenin yanı sıra temel harmonik reaktif güç kompanzasyonu yetenekleri sebebiyle pratikte, seri pasif filtrelerden daha çok kullanılırlar [10]. Diğer taraftan, paralel pasif filtrelerin, tek ayarlı, çift ayarlı, üç ayarlı, sönümlü- çift ayarlı, birinci dereceden yüksek geçiren, ikinci dereceden yüksek geçiren, üçüncü dereceden yüksek geçiren ve C tipi filtre çeşitleri vardır [10-12].

Literatürde, akım toplam harmonik bozulması (THDI), gerilim toplam harmonik bozulması (THDV), güç faktörü (PF), filtre kaybı (FL) ve filtre maliyeti (FC) parametreleri dikkate alınarak pasif filtrelerin optimal tasarımları gerçekleştirilmiştir. Buna göre, PF'nin maksimizasyonu ve THDV, THDI, FL ve FC'nin minimizasyonu, optimal pasif filtre tasarım problemlerinde geleneksel olarak hedeflenmiştir [13-15]. Bu çalışmalarda, IEEE 519 standardında [16] tanımlı harmonik sınırları ve istenilen temel frekans güç faktörü aralığı optimizasyon probleminin kısıtları olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, yeni tarihli bazı çalışmalarda [17, 18] ise güç sistemlerinin IEEE 519 standardında tanımlı harmonik sınırları aşmadan barındırabileceği azami fotovoltaiik dağıtık üretim birimi gücünü maksimize etmeyi amaçlayan optimal pasif filtre tasarımları sunulmuştur.

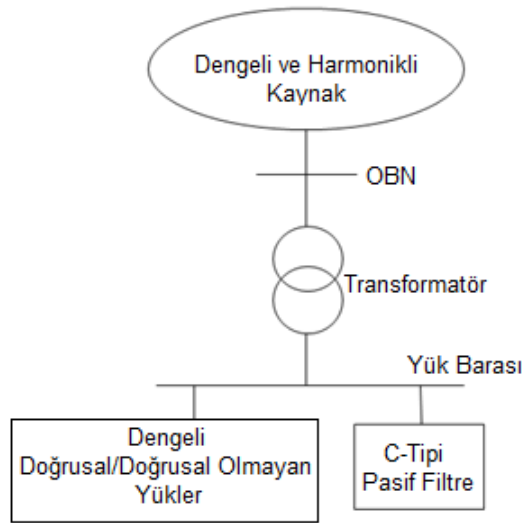
Geleneksel harmonik bozulma ölçüm indisleri olan THDI ve THDV, akım ve gerilim dalga şekli bozulmalarının toplam miktarını gösteren birer indistir. Ancak, bu iki indis akım ve gerilim harmoniklerinin frekanslarını dikkate almazlar [19]. Dolayısıyla, THDI indisi harmonikli akımlar altında transformatör sargılarının frekansa bağılı kayıplarının ve yüklenme kapasitesinin hesabında yetersizdir. Bu eksiği gidermek amacıyla, IEEE standart C57.110-2008 [20], harmonikli akımlar altında transformatörlerin yüklenme kapasitesinin hesabında kullanılmak üzere harmonik kayıp faktörü indisini (F_{HL}) tanımlamıştır. Buna göre, [21, 22] çalışmalarında, harmonik bozulmaya sahip kaynak gerilimi olan tipik bir endüstriyel güç sisteminde, doğrusal olmayan yükleri besleyen transformatörlerin yüklenme kapasitesini maksimize etmek için optimal tek-ayarlı ve C tipi pasif filtre tasarımları önerilmiştir. Her iki optimal tasarımın amaç fonksiyonu F_{HL} indisinin minimizasyonu olarak seçilmiştir. Bu tasarım çalışmalarında kısıt olarak, optimal pasif filtre tasarım probleminin geleneksel kısıtları dikkate alınmıştır. Bu önerilen tasarımların, THDV ve THDI'yı minimize etmeyi amaçlayan geleneksel tasarımlara göre daha yüksek transformatör yüklenme kapasitesi değerlerini sağladığı, karşılaştırmalı analiz sonuçlarıyla gösterilmiştir. Ayrıca, son zamanlarda yapılan bir diğer çalışmada [11], tek ayarlı, çift ayarlı, üç ayarlı, sönümlü çift ayarlı ve C tipi filtrelerin, transformatörlerin harmonikli sistemlerde yüklenme kapasitesinin iyileştirilmesine katkıları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada sunulan sonuçlar, transformatör yüklenme kapasitesini iyileştirme performansları bakımından pasif

filtrelerin en iyiden en kötüye; üç ayarlı, sönümlü çift ayarlı, çift ayarlı, C tipi ve tek ayarlı olarak sıralandığını göstermiştir. Aynı çalışmada, balina optimizasyon ve parçacık sürü optimizasyon algoritmaları, filtre tasarım probleminin çözümü için uygulanmıştır. Bu iki algoritmanın sonuçlarının birbiriyle örtüştüğü, ancak balina optimizasyon algoritmasının parçacık sürü optimizasyon algoritmasına göre daha az iterasyon sayısı ile problemi çözdüğü çıktılarına ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, öncelikle, [22]'de çalışılan harmonik bozulmaya sahip tipik bir endüstriyel güç sistemi için transformatör yüklenme kapasitesinin maksimizasyonunu amaçlayan optimal C tipi pasif filtre tasarım probleminin çözümünde, büyük patlama büyük çöküntü [23], karınca aslanı optimizasyon [24] ve yusuçuk optimizasyon [25] algoritmaları, sonuç ve hız bakımından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Daha sonra, tasarlanan optimal pasif filtrenin, kaynağa ait toplam harmonik bozulma, hat empedansı genliği ve hat empedansı X/R oranının değiştiği durumlar için performansı analiz edilmiştir.

2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada, sunulan analiz sonuçları [11, 22]'de dikkate alınan tipik endüstriyel güç sistemi için gerçekleştirilen simülasyonlarla elde edilmiştir. Bu sistemin tek hat diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'den görüldüğü üzere analiz sistemi, dengeli ve harmonik bozulmaya sahip kaynak, üç fazlı dengeli doğrusal ve doğrusal olmayan yükler, ortak bağlantı noktasından (OBN'den) yük barasına enerji taşıyan tüketiciye ait transformatör ve C-tipi pasif filtreden oluşmaktadır.



Şekil 1. Tipik bir endüstriyel güç sisteminin tek hat diyagramı.

2.1. Sistemin modellenmesi

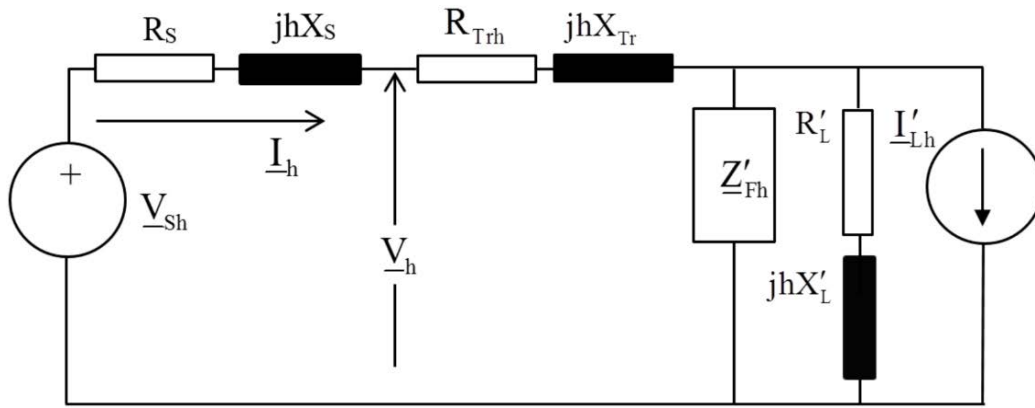
Şekil 1'de verilen tipik endüstriyel güç sisteminin, tek fazlı eşdeğer devresi Şekil 2'de sunulmuştur. Bu tek faz eşdeğer devre, sistemin dengeli olması sebebiyle akım, gerilim ve güç ifadelerini yazmak için pratik olarak kullanılabilir. Eşdeğer devrede, sistemdeki doğrusal olmayan yükler transformatörün primer tarafından görülen sabit harmonik akım kaynağı (I'_{Lh}) olarak, doğrusal yükler ise yine transformatörün primer tarafından görülen empedans ($R'_L + jhX'_L$) olarak modellenmiştir. Sistemde kaynak tarafı, her harmonik

numarası için bir Thevenin eşdeğer gerilim kaynağı (V_{Sh}) ve bir Thevenin eşdeğer empedansı ($Z_{Sh} = R_S + jhX_S$) olarak modellenmiştir [26-28].

Analiz sisteminde, [29] çalışması göz önüne alınarak, tüketici transformatörü pratik yolla primer taraftan görülen harmonik kısa devre empedansı kullanılarak modellenmiştir:

$$Z_{Trh} = R_{Trh} + jhX_{Tr} \quad (1)$$

[30-33] nolu referanslarda sunulan niteliksel ve niceliksel analizlerden, % 5'in altındaki gerilim toplam harmonik bozulma (THDV) değerleri altında, çekirdek kayıplarının ihmal edilebilir şekilde değiştiği ifade edilebilir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde, THDV %5 değerini aşmadığı için transformatör modelinde çekirdek kayıpları dikkate alınmamıştır.



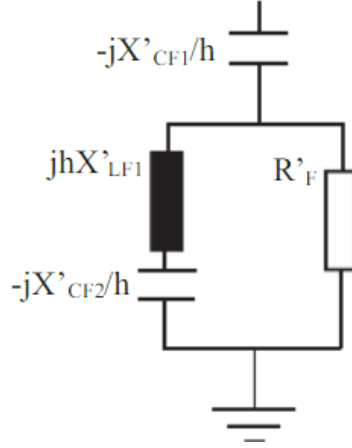
Şekil 2. Tipik bir endüstriyel güç sisteminin tek faz eşdeğer devresi.

Denklem (1)'de, X_{Tr} sargının temel harmonik endüktif reaktansı ve R_{Trh} sargının h. harmonik direncini göstermektedir. R_{Trh} sargının DC direnci (R_{dc}) ve sargı kaçak kaybına karşılık gelen direncin (R_{ec}) toplamı biçiminde ifade edilebilir [20, 29]:

$$R_{Trh} = R_{dc} + h^2 R_{ec} \quad (2)$$

C tipi filtrenin transformatörün primer tarafından görülen tek faz eşdeğer devresi Şekil 3'de verilmiş olup h. harmonik için empedansı Denklem (3)'de verilen ifadeyle hesaplanabilir:

$$Z'_{Fh} = -j \frac{X'_{CF1}}{h} + \frac{R'_F j (hX'_{LF1} - X'_{CF2}/h)}{R'_F + j (hX'_{LF1} - X'_{CF2}/h)} \quad (3)$$



Şekil 3. C tipi filtrenin transformatörün primer tarafından görülen tek faz eşdeğer devresi.

C tipi filtrede bulunan reaktanslar arasındaki ilişkiler Denklem (4)'de verilen şekilde ifade edilebilir:

$$X'_{CF1} = X'_{CF2} (h_t^2 - 1), X'_{LF1} = X'_{CF2} \quad (4)$$

Denklem (4)'de h_t filtrenin ayarlandığı harmonik numarasıdır.

2.2. Güç kalitesi indislerinin hesabı

Sistemin tek faz eşdeğer devresi dikkate alınarak, Süperpozisyon ilkesine göre; h . harmonik için hat akımı (I_h) ve OBN gerilimi (V_h), Denklem (5) ve (6)'da verilen ifadelerle bulunur:

$$I_h = \frac{V_{Sh}}{Z_{Sh} + Z_{Trh} + Z'_{FLh}} + \frac{Z'_{FLh}}{Z_{Sh} + Z_{Trh} + Z'_{FLh}} I'_{Lh} \quad (5)$$

$$V_h = V_{Sh} - I_h Z_{Sh} \quad (6)$$

Burada, $Z'_{FLh} = \left(\frac{1}{Z'_{Fh}} + \frac{1}{R'_L + jhX'_L} \right)^{-1}$, yükün h . harmonik empedansı ($R'_L + jhX'_L$) ve pasif filtrenin h . harmonik empedansının (Z'_{Fh}) paralel eşdeğeridir. Bu ifadelerde, alt simge ($_$) ilgili gerilim, akım ve empedansların fazör değerlerini belirtir.

Böylece, OBN'deki $THDV$ ve $THDI$ değerleri hesaplanır:

$$THDV = \frac{\sqrt{\sum_{h \geq 2} V_h^2}}{V_1} \cdot 100 \quad (7)$$

$$THDI = \frac{\sqrt{\sum_{h \geq 2} I_h^2}}{I_1} \cdot 100 \quad (8)$$

Temel frekans güç faktörü (DPF), temel harmonik aktif gücü ($P_1=V_1I_1\cos(\varphi_1)$) ile temel harmonik görünür gücünün ($S_1=V_1I_1$) oranıdır:

$$DPF = \frac{P_1}{S_1} \quad (9)$$

IEEE C57.110 standartında tanımlanan F_{HL} indisinin ifadesi,

$$F_{HL} = \frac{\sum_h h^2 \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2}{\sum_h \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2} = \frac{\sum_h h^2 I_h^2}{\sum_h I_h^2} \quad (10)$$

olup, sistemde bulunan kuru tip tüketici transformatörünün akım kapasitesi ($I_{Maks}(pu)$) ve yüklenme kapasitesi ($S_{Maks}(\%)$),

$$I_{Maks}(pu) = \sqrt{\frac{P_{LL-R}(pu)}{1 + F_{HL} P_{EC-R}(pu)}} = \sqrt{\frac{1 + P_{EC-R}(pu)}{1 + F_{HL} P_{EC-R}(pu)}} \quad (11)$$

$$S_{Maks}(\%) = \sqrt{3} V_R(pu) I_{Maks}(pu) \cdot 100 \quad (12)$$

ifadelerine sahiptir.

2.3. Optimal pasif filtre tasarım probleminin ifade edilmesi

Literatürdeki [11, 21, 22] çalışmalarında, transformatörün harmonikli şartlarda yüklenme kapasitesini maksimize etmek için F_{HL} indisinin minimize edilmesi, optimal pasif filtre tasarım problemi için amaç fonksiyonu olarak seçilmiştir.

OBN gerilimi ve hat akımının her bir harmonik bileşeni (V_h ve I_h) ve toplam harmonik bozulma değerleri ($THDV$ ve $THDI$) için IEEE 519 standardında belirtilen sınırlamalar problemin kısıtları olarak tanımlanmıştır. Bu harmonik kısıtları, ayrıca, rezonans durumuna sebep olabilecek filtre parametrelerinin çözüm olarak bulunmasına engel olacaktır. Filtre bağlandıktan sonra temel frekans reaktif güç kompanzasyonunun istenilen seviyede olması için problemin son kısıtı olarak, DPF 'nin 0.95 ile 1.00 (indüktif) aralığında olması dikkate alınmıştır.

Yukarıda belirtilen amaç ve kısıtlamalara göre, C tipi filtre için optimal tasarım probleminin ifadesi aşağıda verilen biçimde yazılabilir:

Bul: Filtrenin direnç ve reaktans parametreleri (fp),

$$\text{Amaç Fonksiyonu: Min } F_{HL}(fp) \quad (13)$$

Kısıtlar:

$$V_h(fp) \leq Maks V_h \quad (14)$$

$$I_h(fp) \leq Maks I_h \quad (15)$$

$$THDV(fp) \leq MaksTHDV \quad (16)$$

$$THDI(fp) \leq MaksTHDI \quad (17)$$

$$0.95 \leq DPF(fp) \leq 1.00 \text{ (indüktif)} \quad (18)$$

Burada, Denklem (13) ve Denklem (14) - (18) sırasıyla problem formülasyonunun amaç fonksiyonu ve kısıtlarıdır. Eşitsizlik kısıtlarında *MaksTHDI* ve *MaksTHDV*, IEEE standart 519'da yer alan maksimum izin verilen *THDI* ve *THDV* değerleridir. *MaksV_h* ve *MaksI_h*, aynı standartta belirlenen maksimum izin verilen harmonik bileşen değerlerini belirtir.

2.4. Optimal pasif filtre tasarım probleminin çözüm algoritması

Bu kısımda, optimal pasif filtre tasarım probleminin çözümüne uygulanan büyük patlama büyük çöküntü, yusufluk optimizasyon ve karınca aslanı optimizasyon algoritmalarının çalışma prensipleri sırasıyla sunulmuştur.

2.4.1. Büyük patlama büyük çöküntü algoritması

Büyük patlama büyük çöküntü algoritması, büyük patlama ve büyük çöküntü olarak isimlendirilen iki fazdan oluşmaktadır [23]. İlk fazda çözüm uzayına rasgele bir şekilde çözüm adayları dağıtılır. Bununla birlikte, diğer evrimsel algoritmalara benzer şekilde, başlangıçta (ilk büyük patlama fazında) çözümler, arama alanının her yerine düzgün bir şekilde yayılır. Bu algoritmayı oluştururken, Erol ve Eksin büyük patlamanın rasgele doğasının enerji yayılımıyla ilişkisini dikkate almıştır. Bu durum algoritma perspektifinden bakıldığında, düzenli bir durumdan (yakınsak bir çözümden) kaos durumuna (yeni çözüm adayları grubuna) geçiş manasına gelmektedir.

İkinci faz (büyük çöküntü fazı) ise bir yakınsama operatörüdür. Bu operatörün birçok girdisi yanında kütle merkezi olarak isimlendirilen tek çıktısı vardır. Kütle merkezi, Denklem (19)'da verilen ifadeyle hesap edilir. Bu denklemde, \vec{x}^c kütle merkezini, \vec{x}^i n-boyutlu uzayda bir çözüm noktası, f^i uyum fonksiyonunun \vec{x}^i noktasındaki değeri, Np ise büyük patlama fazında oluşturulan popülasyon büyüklüğünü ifade eder.

$$\vec{x}^c = \frac{\sum_{i=1}^{Np} \frac{1}{f^i} \vec{x}^i}{\sum_{i=1}^{Np} \frac{1}{f^i}} \quad (19)$$

Algoritma akışında, bu kütle merkezinin en iyi çözüm olduğu varsayılp bir sonraki adımda Denklem (20) ve (21) kullanılarak yeni çözümler bu kütle merkezi etrafına yakınsanarak oluşturulur:

$$x_i^{new} = X^c + \sigma \quad (20)$$

$$\sigma = \frac{r\alpha(x_{max} - x_{min})}{k} \quad (21)$$

Bu iki denklemde, σ arama uzayını sınırlandırmak için kullanılan parametre, r standart rastgele oluşturulmuş sayı, x_{max} ve x_{min} üst ve alt sınır değerleri, k adım sayısını ifade eder.

Bu patlama ve toplanma işlemleri durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder. Denklem (22)'de verilen ifade kullanılarak kütle merkezi ve global en iyi çözüm cinsinden daha iyi yeni çözümler bulunabilir. Bu ifadede β global en iyi çözümün kütle merkezine göre öncelik katsayısını, $X^{(k+1,i)}$ yeni adımda üretilen çözüm adaylarını temsil etmektedir.

$$X^{(k+1,i)} = \beta X^{c(k)} + (1 - \beta)X^{gbest(k)} + \sigma \quad (22)$$

Bu çalışma kapsamında, yapılan denemeler dikkate alınarak, en hızlı şekilde en iyi sonuca ulaşmak için β ve α parametreleri sırasıyla 0.2 ve 1 değerlerinde seçilmiştir.

2.4.2. Karınca aslanı optimizasyon algoritması

Karınca aslanı optimizasyon algoritması, karınca aslanlarının avlanma tekniğini taklit eden bir optimizasyon algoritmasıdır [24]. Bu avlanma tekniğini kısaca açıklamak gerekirse; karınca aslanı larvaları; bir koni şeklinde dairesel bir yol çizerek karıncalar için tuzaklarını oluştururlar. Bu koloninin gözükmeyen en alt sivri ucuna kendilerini gömerler ve avları olan karıncaları beklemeye başlarlar. Karıncalar gelip, tuzağa girdikleri zamanda tuzaktan çıkmasını engellemek ve tuzağın dibine karıncaları çekmek için, karıncalara kum fırlatmaya başlarlar. Yakaladıkları karıncaları ise çeneleri büyük olduğu için hemen yutarlar ve tuzağını tekrar kurup yeni bir karınca gelmesini beklemeye başlarlar.

Buna göre algoritma oluşturulurken, öncelikle karıncaların rasgele yürüyüşlerinin matematiksel modeli Denklem (23)'de verilen biçimde ifade edilmiştir. Bu denklemde, n maksimum iterasyon sayısını, t rasgele yürüyüş adımlarını (iterasyon sayısını), $cumsum$ adımların kümülatif toplam değerini ve $r(t)$ bir rastgelelik fonksiyonunu ifade etmektedir. $r(t)$ rastgelelik fonksiyonu ise Denklem (24)'de verilen biçimde yazılabilir. Bu ifadeye göre, $rand$ 'in 0.5'den küçük eşit olduğu durumlarda $r(t)$ 'nin değeri sıfır, $rand$ 'ın 0.5'den büyük olduğu durumlarda $r(t)$ 'nin değeri 1'dir.

$$X(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ cumsum(2r(t_1)-1) \\ cumsum(2r(t_2)-1) \\ \vdots \\ cumsum(2r(t_n)-1) \end{pmatrix} \quad (23)$$

$$r(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } rand > 0.5 \\ 0 & \text{if } rand \leq 0.5 \end{cases} \quad (24)$$

Diğer taraftan, karıncaların rasgele yürüyüşe başladıklarında konumlarını güncellerken arama uzayı sınırlarının dışına çıkılmaması için Denklem (25)'de verilen ifadeye göre konumları normalize edilir. Bu denklemde, i değişken sayısını, a i 'nci değişkenin minimum rasgele yürüyüşünü, b i 'nci değişkenin maksimum rasgele yürüyüşünü, c ve d ise her bir iterasyonda güncellenen karınca aslanı pozisyonlarının sırasıyla minimum ve maksimum değerlerini ifade etmektedir.

$$X_i^t = \frac{(X_i^t - a_i)(d_i - c_i)}{d_i^t - a_i} + c_i \quad (25)$$

Karıncaların tuzağa girdikleri an, karınca aslanının onları tuzağın dibine çekmek için gerçekleştirdiği kum fırlatma hareketinin matematiksel modellenmesi ise Denklem (26)-

(29)'da verilmiştir. Bu denklemlerde yer alan, I kaydırma oranını ve $Antlion_j^t$ t . iterasyondaki j . karınca aslanını ifade etmektedir.

$$c_{i=}^t = Antlion_j^t + c^t \quad (26)$$

$$d_{i=}^t = Antlion_j^t + d^t \quad (27)$$

$$c^t = \frac{c^t}{I} \quad (28)$$

$$d^t = \frac{d^t}{I} \quad (29)$$

Yukarıda verilen denklemlere ilaveten, rulet tekerleği ile seçilen karınca aslanı ve elit karınca aslanı etrafında yürüyen karıncaların yeni pozisyonları Denklem (30)'da verilen ifade kullanılarak bulunabilir. Bu ifadede, Ant_i^t t . iterasyondaki i . karınca için; karıncaların yeni pozisyonunu, R_A^t t . iterasyondaki rulet tekerleği tarafından seçilen karınca aslanı çevresindeki rasgele yürüyüşü, R_E^t ise t . iterasyondaki elit karınca aslanı etrafında rastgele yürüyüşü ifade eder.

$$Ant_i^t = \frac{R_A^t + R_E^t}{2} \quad (30)$$

Son aşamada ise karınca aslanları tuzağın dibine düşürdükleri karıncaları yedikten sonra kendi pozisyonlarını Denklem (31)'de verilen ifadeye göre güncellerler.

$$Antlion_j^t = Ant_i^t \quad \text{if} \quad f(Ant_i^t) < f(Antlion_j^t) \quad (31)$$

2.4.2. Yusufçuk optimizasyon algoritması

Yusufçuk optimizasyon algoritması, yusufçuk böceklerinin avlanma davranışını taklit eden sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır [25]. Bu algoritmanın çalışma prensibini izah etmek için öncelikle yusufçuk böceklerinin avlanma aşamasını açıklamak faydalı olacaktır. Bu yusufçuk sürülerinin davranışları; Ayırma, Hizalama, Ahenk, Besin ve Düşman öğeleri üzerinden açıklanabilir [34].

Bu öğelerden ilki olan *ayırma*; sürü içerisindeki diğer yusufçuklarla çarpışmayı önlemek için gereklidir. İkinci öğe olan *hizalama*; sürü içerisindeki diğer yusufçuklarla hız uyumu için önem arz etmektedir. Diğer öğeler sırasıyla, *ahenk*; sürü merkezine doğru bireylerin eğilimini, *besin*; bireylerin gıda kaynaklarına doğru yönelmesini ve *düşman* ise; sürünün düşmanlardan kaçma eğilimini ifade eder. Algoritma mantığı bakımından ele alındığında, *besin* optimum çözüme yönelimi, *düşmandan* kaçış ise tarama alanının artması manalarına gelmektedir.

Bu algoritma oluşturulurken öncelikle, yusufçuk böceklerinin yukarıda belirtilen davranışları modellenmiştir. Bu modellerden ilki Denklem (32)'de yazılan ayırma ifadesidir. Bu ifadede S_i ; ayırma indisi, X mevcut bireyin pozisyonunu, X_j j . komşu bireyin pozisyonunu, N ise komşu bireylerin sayısını ifade etmektedir.

$$S_i = - \sum_{j=1}^N X - X_j \quad (32)$$

Hizalama, ahenk, besin kaynağına çekim ve düşman tehdidi karşısında dışa doğru kaçış davranışlarının modelleri ise sırasıyla Denklem (33)-(36)'da verilmiştir. Bu ifadelerde,

A_i ; hizalama indisini, V_j ise j . komşu bireyin hızını, C_i ahenk indisini, F_i ; besin kaynağına doğru çekim indisini, X^+ ifadesi besin kaynağının pozisyonunu, E_i bir düşman tehdidi karşısında dışa doğru davranış indisini ve X^- tehdit eden düşmanın pozisyonunu temsil etmektedir.

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^N V_j}{\sum_{j=1}^N X_j} \quad (33)$$

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} - X \quad (34)$$

$$F_i = X^+ - X \quad (35)$$

$$E_i = X^- + X \quad (36)$$

Yusufçuk böceklerinin $t+1$. iterasyondaki pozisyonları (X_{t+1}), t . iterasyondaki pozisyonlarına (X_t) göre ΔX_{t+1} adım aralığıyla güncellenir:

$$X_{t+1} = X_t + \Delta X_{t+1} \quad (37)$$

$t+1$. iterasyondaki adım aralığının (ΔX_{t+1}) ifadesi, s ayırma, a hizalama, c uyum, f besin, e düşman faktörlerinin ağırlık değerleri ile bu davranışlara ilişkin indisler, t . iterasyondaki adım aralığı ΔX_t ve bu adım aralığına ilişkin w atalet ağırlığı cinsinden Denklem (38)'de yazılmıştır:

$$\Delta X_{t+1} = (sS_i + aA_i + cC_i + fF_i + eE_i) + w\Delta X_t \quad (38)$$

Ayrıca; bu algorithmada rastgelelik davranışı ve yapay yusufçukların keşif özelliklerini iyileştirmek için yusufçuk böceklerinin pozisyon denklemi Le'vy uçuşu olarak da tabir edilen rastsal yürüyüş cinsinden ifade edilebilir:

$$X_{t+1} = X_t + \text{Le'vy}(d) * X_t \quad (39)$$

Bu denklemde, t mevcut döngüyü, d ise pozisyon vektörünün boyutunu temsil etmektedir. Le'vy uçuşunun ifadesi, r_1 ve r_2 ile gösterilen iki rasgele sayı, β sabiti, σ fonksiyonu cinsinden Denklem (40)'da verilen biçimde yazılabilir:

$$\text{Le'vy}(x) = 0.01 * \frac{r_1 * \sigma}{|r_2|^{\frac{1}{\beta}}} \quad (40)$$

Denklem (40)'da yer alan σ fonksiyonu ise;

$$\sigma = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) * \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right) * \beta * 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (41)$$

olup burada yazılı Gama fonksiyonunun ($\Gamma(x)$) ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$\Gamma(x) = (x - 1)! \quad (42)$$

3. Bulgular ve tartışma

Benzetimi yapılan sistemin temel frekans kaynak gerilimi ve kısa devre gücü sırasıyla 6345 V (hat gerilimi) ve 210 MVA'dır. Sistemin tek fazlı eşdeğer devresi için, kaynak empedansı parametreleri ve transformatörün primer tarafından görülen yük empedans parametreleri $R_S = 0.0189 \Omega$, $X_S = 0.189 \Omega$, $R_L' = 13.85 \Omega$ ve $X_L' = 13.18 \Omega$ 'dur.

Sistemde, 2 MVA ve 6300 V / 400 V anma değerlerine sahip yıldız-yıldız bağlantılı kuru tip bir tüketici transformatörü bulunmaktadır. Transformatörün R_{dc} , R_{ec} , X_{Tr} ve P_{EC-R} parametreleri, 0.104 Ω , 0.024 Ω , 0.882 Ω ve 0,231 pu'dur. Bu sistem için kaynak gerilimi ve primer tarafa indirgenmiş yük akımı harmonikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Kaynak gerilimi harmonikleri ve primer tarafa indirgenmiş yük akımı harmonikleri.

h	$V_{Sh} (V)$	$I'_{Lh} (A)$
5	36.64 $\angle 0^\circ$	14.30 $\angle 5 \cdot -45^\circ$
7	27.48 $\angle 0^\circ$	13.20 $\angle 7 \cdot -45^\circ$
11	23.82 $\angle 0^\circ$	12.10 $\angle 11 \cdot -45^\circ$
13	20.15 $\angle 0^\circ$	11.00 $\angle 13 \cdot -45^\circ$
17, 19, 23, 25	11.00 $\angle 0^\circ$	7.70 $\angle h \cdot -45^\circ$
29, 31, 35, 37	3.66 $\angle 0^\circ$	5.50 $\angle h \cdot -45^\circ$
41, 43, 47, 49	1.85 $\angle 0^\circ$	3.30 $\angle h \cdot -45^\circ$

Pasif filtresiz sistemde, OBN'de ölçülen $THDV$, $THDI$ ve F_{HL} değerleri % 3.45, % 16.19 ve 10.34'tür. Aynı durumda, S_{Maks} % 60.27 değerine sahiptir. Yükün DPF ve P_I değerleri ise 0.7051 ve 1.410 MW'dır. IEEE std. 519, analiz edilen sistemin sahip olduğu gerilim seviyesi ve yük akımı/kısa devre akımı oranı için Tablo 2'de verilen gerilim ve akım harmonik sınırlarını önermektedir. Bu tabloda sunulan harmonik sınırlamalar dikkate alındığında OBN'de ölçülen $THDV$ değerinin IEEE std. 519'da belirtilen %5 sınır değerine uyduğu ancak hat akımının $THDI$ değerinin aynı standartta tanımlı %15 değerini aştığı görülmektedir. Diğer taraftan S_{Maks} ve DPF değerlerinin iyileştirilmesi gerektiği ifade edilebilir.

Tablo 2. Analiz sistemi için IEEE std. 519. gerilim ve akım harmonik sınırları.

Harmonik numarası	Her bir harmonik numarası için sınırlamalar (Temel harmoniğin yüzdesi cinsinden)					THD Sınırı
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h$	
Hat akımı	12	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
OBN Gerilimi	3.0					5.0

3.1. Optimizasyon algoritmalarının karşılaştırmalı analizi

Bu kısımda, büyük patlama büyük çöküntü (BPBÇ), karınca aslanı optimizasyon (KAO) ve yusufoçuk optimizasyon (YO) algoritmalarının dikkate alınan optimal pasif filtre tasarım probleminin çözümünde sonuç ve hız bakımından karşılaştırmalı analizi amaçlanmıştır. Buna göre, BPBÇ, KAO ve YO algoritmaları kullanılarak, optimal pasif filtre tasarım problemi çözülmüş, elde edilen sonuçlar Tablo 3 ve 4'de verilmiştir.

Tablo 3. BPBÇ, KAO ve YO algoritmaları kullanılarak bulunan optimal C tipi pasif filtre parametre değerleri.

	KAO	BPBÇ	YO
$X'_{CF1} (\Omega)$	27.960	27.960	27.960
$X'_{CF2} = X'_{LF1} (\Omega)$	1.090	1.093	1.090
$R'_f (\Omega)$	6.019	5.939	5.992

Tablo 4. Tasarlanan filtreler sisteme bağlandıktan sonra ulaşılan güç kalitesi indisleri ve transformatör yüklenme kapasitesi değerleri.

	KAO	BPBÇ	YO
THDI(%)	12.92	12.83	12.91
THDV(%)	1.74	1.74	1.74
DPF(%)	0.99	0.99	0.99
F_{HL}	1.97	1.97	1.97
S_{Maks}(%)	91.96	91.96	91.96

Tablo 3'den, test edilen algoritmalar tarafından bulunan optimal filtre parametrelerinin $X'_{CF1}=27.960 \Omega$, $X'_{CF2} = X'_{LF1} = 1.09 \Omega$ ve $R'_f = 6.00 \Omega$ civarında değerlerde olduğu görülmektedir. Tablo 4 ise; bu optimal filtre tasarımlarının sağladığı *THDI*, *THDV*, *DPF*, *F_{HL}* ve *S_{Maks}* değerlerinin yaklaşık olarak, %12.9, %1.7, 0.99, 1.97 ve %91.96 olduğunu göstermektedir. Böylece, test edilen algoritmalar arasında dikkate alınan optimal pasif filtre tasarım probleminin çözümünde ihmal edilebilir farklar olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 5'den ise, KAO, YO ve BPBÇ algoritmalarının 59, 66 ve 99 iterasyon sayılarında çözüme ulaştığı, dolayısıyla, transformatör yüklenme kapasitesinin maksimizasyonunu amaçlayan optimal pasif filtre tasarım probleminin çözümünde, hız bakımından en iyiden en kötüye algoritmaların, KAO, YO ve BPBÇ olarak sıralandığı görülmektedir.

Tablo 5. Algoritmaların optimal pasif filtre tasarım probleminin çözümü için iterasyon sayıları.

Algoritma	İterasyon Sayısı
KAO	59
BPBÇ	99
YO	66

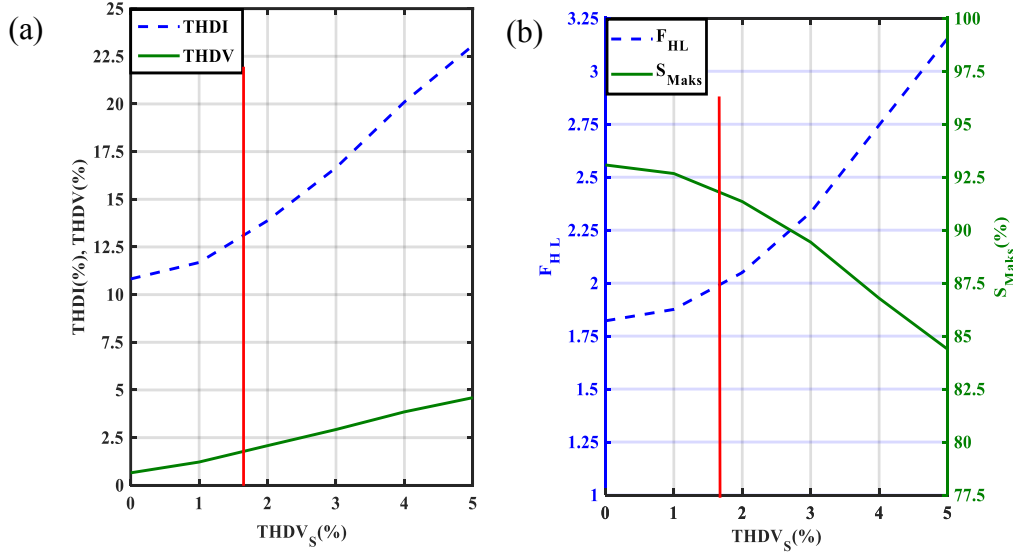
3.2. Optimal pasif filtrenin değişken sistem şartlarında performansının analizi

Bu kısımda, BPBÇ algoritması kullanılarak elde edilen optimal pasif filtre sisteme bağlıken; kaynak geriliminin toplam harmonik bozulması (*THDV_S*), hat empedansının X_S/R_S oranı, ve hat empedansının genliğinde (Z_S) meydana gelen değişimlerin, OBN geriliminin ve hat akımının toplam harmonik bozulma değerlerine (*THDV* ve *THDI*), OBN'de ölçülen *F_{HL}* değeri ile transformatörün yüklenme kapasitesi (*S_{Maks}*) üzerine

etkileri analiz edilecektir. X_S/R_S oranıyla ilgili parametrik analizde Z_S sabit değerde tutulmuş, Z_S ile ilgili parametrik analizde X_S/R_S oranı sabit tutulmuştur.

3.2.1. Değişken $THDV_S$ değerleri altında elde edilen sonuçlar

Test sisteminde, IEEE std. 519 dikkate alınarak, $THDV_S$ değeri %0 ile %5 aralığında değiştirilmiştir. Bu $THDV_S$ aralığı için filtresiz sistemde, F_{HL} ve S_{Maks} sırasıyla 10.4 ve %60 etrafında ihmal edilebilir değişimler göstermiştir. Diğer taraftan, optimal pasif filtre tasarımı sisteme bağlıyken, $THDV_S$ 'nin %0 ile %5 aralığı için $THDV$, $THDI$, F_{HL} ve S_{Maks} 'ın değişimleri Şekil 5'de verilmiştir.

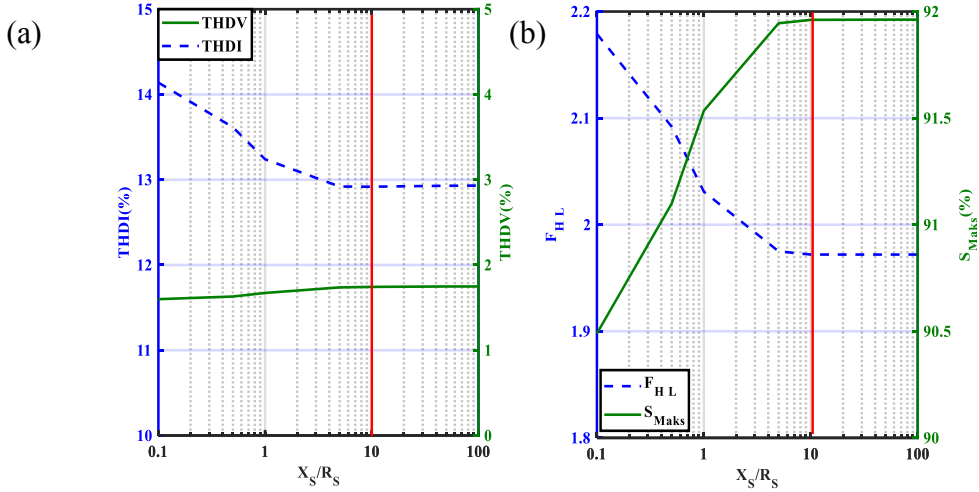


Şekil 5. (a) $THDV$ ile $THDI$ indislerinin ve (b) F_{HL} ile S_{Maks} indislerinin $THDV_S$ 'ye bağlı değişimleri.

Bu şekilde kırmızı çizgi ile işaretli $THDV_S$ değeri, optimal filtrenin tasarlandığı durumdaki kaynağın toplam harmonik bozulmasıdır. Bu sonuçlara göre, $THDV_S$ 'nin artışıyla, $THDV$ 'nin %0 ile %5 aralığında, $THDI$ 'nin %10 ile %22.5 aralığında ve F_{HL} 'nin 1.75 ile 3.25 aralığında artış gösterdiği ifade edilebilir. F_{HL} 'deki bu artışa bağlı olarak S_{Maks} %92.5'ten %85'e düşmüştür.

3.2.2. Değişken X_S/R_S değerleri altında elde edilen sonuçlar

Analizler sırasında, test sisteminde, hat empedansının X_S/R_S oranı 0.1 ile 100 aralığında değiştirilmiştir. Bu X_S/R_S aralığı için filtresiz sistemde, F_{HL} ve S_{Maks} sırasıyla 10.4 ve %60 etrafında ihmal edilebilir değişimler göstermiştir. Diğer taraftan, optimal pasif filtre tasarımı sisteme bağlıyken, X_S/R_S 'nin 0.1 ile 100 aralığı için $THDV$, $THDI$, F_{HL} ve S_{Maks} 'ın değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Bu şekilde kırmızı çizgi ile yatay eksenle işaretli X_S/R_S değeri, optimal pasif filtrenin tasarlandığı durumdaki X_S/R_S oranıdır.



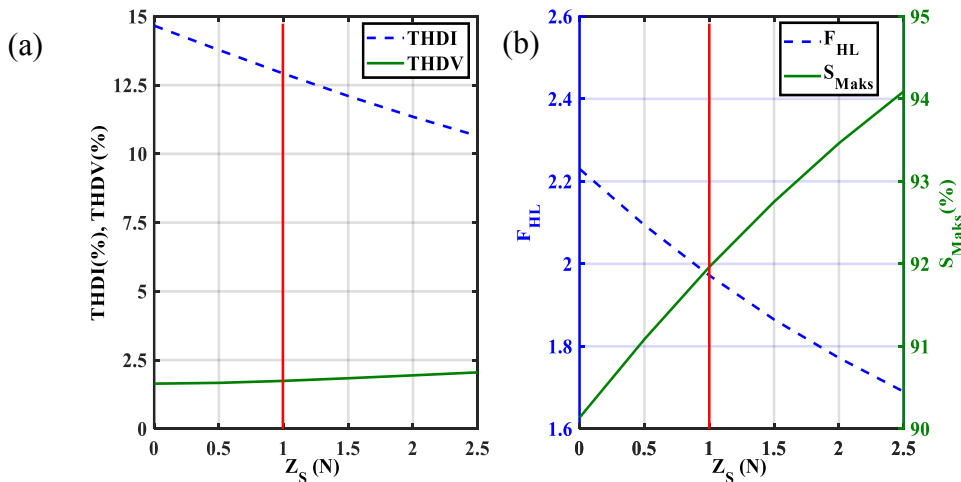
Şekil 6. (a) THDV ile THDI indislerinin ve (b) F_{HL} ile S_{Maks} indislerinin X_s/R_s 'ye bağlı değişimleri.

Bu şekilden, X_s/R_s oranının 0.1-10 aralığında artışıyla, $THDI$ 'nin %14'den %13'e düştüğü, F_{HL} 'nin 2.2'den 1.9'a düştüğü ve S_{Maks} 'in %90.5'dan %92'ye yükseldiği görülmektedir. Bununla birlikte, X_s/R_s oranının 10 ile 100 aralığı için bu üç indiste ihmal edilebilir bir değişim meydana gelmiştir. Ayrıca, analiz sonuçlarına göre tüm X_s/R_s aralığı için $THDV$ 'nin ihmal edilebilir değişim gösterdiği ifade edilebilir.

3.2.3. Değişken Z_s değerleri altında elde edilen sonuçlar

Analizler sırasında, test sisteminde, Z_s 'nin normalize edilmiş değeri 0 ile 2.5 aralığında değiştirilmiştir. Z_s 'nin normalize değerinin 1 olduğu durum, optimal pasif filtrenin tasarlandığı durumdur. Test edilen Z_s aralığı için filtresiz sistemde, F_{HL} ve S_{Maks} sırasıyla 10.4 ve %60 etrafında ihmal edilebilir değişimler göstermiştir. Optimal pasif filtre tasarımı sisteme bağlıyken, Z_s 'nin 0 ile 2.5 değer aralığı için $THDV$, $THDI$, F_{HL} ve S_{Maks} 'in değişimleri ise Şekil 7'de verilmiştir.

Bu şekilden Z_s 'nin artışıyla, kabaca, $THDI$ 'nin %15'den %10'a düştüğü, F_{HL} 'nin 2.2'den 1.7'ye düştüğü ve S_{Maks} 'in %90'dan %94'e yükseldiği, $THDV$ 'nin ihmal edilebilir miktarda artışı ifade edilebilir.



Şekil 7. (a) THDV ile THDI indislerinin ve (b) F_{HL} ile S_{Maks} indislerinin Z_s 'ye bağlı değişimleri.

4. Sonuç

Bu çalışmada, öncelikle, harmonik bozulmaya sahip tipik bir endüstriyel güç sistemi için transformatör yüklenme kapasitesinin maksimizasyonunu amaçlayan optimal pasif filtre tasarım problemi, büyük patlama büyük çöküntü (BPBÇ), karınca aslanı optimizasyon (KAO) ve yusufluk optimizasyon (YO) algoritmalarıyla çözülmüştür. Elde edilen sonuçlardan, algoritmaların buldukları optimal C tipi pasif filtre parametrelerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Ancak, çözüm iterasyon sayıları karşılaştırıldığında, algoritmaların hız bakımından en iyiden en kötüye, KAO, YO ve BPBÇ olarak sıralandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Yukarıda belirtilen analizlere ilaveten, optimal C tipi pasif filtre sisteme bağlı iken kaynak tarafı toplam harmonik bozulmasındaki değişim ($THDV_s$), hat empedansının X/R oranındaki değişim ve hat empedansının genliğindeki değişimin; transformatörün yüklenme kapasitesi (S_{Maks}), harmonik kayıp faktörü (F_{HL}), ortak bağlantı noktası geriliminin toplam harmonik bozulması ($THDV$) ve hat akımının toplam harmonik bozulması ($THDI$) üzerine etkisi analiz edilmiştir. Analizlerden;

- *$THDV_s$ artışının, OBN'de ölçülen $THDV$ 'yi, hat akımı $THDI$ 'sını ve F_{HL} 'yi arttırdığı, S_{Maks} 'i düşürdüğü, dolayısıyla filtre performansını olumsuz etkilediği,*
- *Hat empedansının X/R oranı ve genliğindeki artışların, OBN'de ölçülen $THDV$ 'yi ihmal edilebilir derecede etkilediği, hat akımı $THDI$ 'sını ve F_{HL} 'yi azalttığı, S_{Maks} 'i arttırdığı, böylece filtre performansına olumlu etki ettiği,*

sonuçlarına varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Singh, G. K., Power system harmonics research: a survey, **European Transactions on Electrical Power**, 19, 2, 151 -172, (2007).
- [2] Abdul Kadir, A.F., Mohamed, A. ve Shareef, H., Harmonic impact of different distributed generation units on low voltage distribution system, **2011 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)**, Niagara Falls, 1201-1206, (2011).
- [3] Fuchs, E.W. ve Masoum, M.A.S., Power quality in power systems and electrical machines, **Elsevier Academic Press**, MA, USA, (2008).
- [4] Srividhya, J.P., Sivakumar, D. ve Shanmathi, T., A review on causes, effects and detection techniques of harmonics in the power system, **IEEE International Conference on Computation of Power, Energy Information and Commuincation**, 680-686, Chennai, India, (2016).
- [5] Peng, F.Z., Harmonic sources and filtering approaches, **IEEE Transactions on Industry Applications Magazine**, 7, 4, 18-25, (2001).
- [6] Motta, L. ve Faúndes, N., Active / passive harmonic filters: applications, challenges & trends, **17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)**, Belo Horizonte, 657-662, (2016).
- [7] Badrzadeh, B., Smith, K. S. ve Wilson, R. C., Designing passive harmonic filters for an aluminum smelting plant, **IEEE Transactions on Industry Applications**, 47, 2, 973-983, (2011).
- [8] Badrzadeh, B. ve Gupta, M., Practical experiences and mitigation methods of harmonics in wind power plants, **IEEE Transactions on Industry Applications**, 49, 5, 2279-2289, (2013).

- [9] Dekka, A., Beig, A.R., Kanukollu, S. ve Al Rahis, M.S., Retrofitting of harmonic power filters in onshore oil drilling rigs: challenges and solutions, **IEEE Transactions on Industry Applications**, 50, 1, 142-154, (2014).
- [10] Das, J. C., Power system harmonics and passive filter designs, **IEEE Press**, (2015).
- [11] Karadeniz, A. ve Balci, M.E., Comparative evaluation of common passive filter types regarding maximization of transformer's loading capability under non-sinusoidal conditions, **Electric Power Systems Research**, 158, 324-334, (2018).
- [12] Abdel Aleem, S. H. E., Zobaa, A. F. ve Balci, M. E., Optimal resonance-free third-order high-pass filters based on minimization of the total cost of the filters using Crow Search Algorithm, **Electric Power Systems Research**, 151, 381-394, (2017).
- [13] Zeineldin, H.H. ve Zobaa, A.F., Particle swarm optimization of passive filters for industrial plants in distribution networks, **Electric Power Components and Systems**, 39, 16, 1795–1808, (2011).
- [14] Balci, M.E. ve Karacaoglan, A.D., Optimal design of c-type passive filters based on response surface methodology for typical industrial power systems, **Electric Power Systems Research**, 41, 7, 653-668, (2013).
- [15] Churio-Barboza, J.C. ve Maza-Ortega, J.M., Comprehensive design methodology of tuned passive filters based on a probabilistic approach, **IET Generation, Transmission & Distribution**, 8, 1, 170-177, (2014).
- [16] IEEE 519, IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems, **IEEE Standard**, (2014).
- [17] Sakar, S., Balci, M. E., Abdel Aleem, S. H. E. ve Zobaa, A. F., Increasing pv hosting capacity in distorted distribution systems using passive harmonic filtering, **Electric Power Systems Research**, 148, 74–86, (2017).
- [18] Sakar, S., Balci, M. E., Abdel Aleem, S. H. E. ve Zobaa, Integration of large-scale pv plants in non-sinusoidal environments: considerations on hosting capacity and harmonic distortion limits, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, 1, 176-186, (2018).
- [19] Heydt, C.T. ve Jewell, W.T., Pitfalls of electric power quality indices, **IEEE Transactions on Power Delivery**, 13, 2, 570-578, (1998).
- [20] ANSI/IEEE C.57.110-2008, IEEE recommended practice for establishing transformer capability when supplying nonsinusoidal load currents, **IEEE Standard**, (2008).
- [21] Balci, M.E. ve Sakar, S., Optimal design of single-tuned passive filters to minimize harmonic loss factor, **Middle-East Journal of Scientific Research**, 21, 11, 2149–2155, (2014).
- [22] Balci, M.E., Optimal c-type filter design to maximize transformer's loading capability under non-sinusoidal conditions, **Electric Power Components and Systems**, 42, 14, 1565–1575, (2014).
- [23] Erol O.K. ve Eksin I., A new optimization method: big bang–big crunch, **Advances in Engineering Software**, 37, 2, 106-111, (2006).
- [24] Mirjalili, S., The ant lion optimizer, **Advances in Engineering Software**, 83, 80-98, (2015).
- [25] Mirjalili, S., Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems, **Neural Computing and Applications**, 27, 4, 1053-1073, (2016).
- [26] IEEE Task Force Harmonic Modeling and Simulation, Modeling and simulation of the propagation of harmonics in electric power networks part I: concepts,

- models and simulation techniques, **IEEE Transactions on Power Delivery**, 11, 1, 452-465, (1996).
- [27] McGranaghan, M.F., Dugan, R.C., King, J.A. ve Jewell, W.T., Distribution feeder harmonic study methodology, **IEEE Transactions on Power Apparatus Systems**, PAS-103, 12, 3663–3671, (1984).
- [28] Xu, W., Component modeling issues for power quality assessment, **IEEE Power Engineering Review**, 21, 11, 12-17, (2001).
- [29] Arslan, E., Balci, M.E. ve Hocaoglu M.H., An analysis into the effect of voltage harmonics on the maximum loading capability of transformers, **16th Int. Conf. on Harmonics and Quality of Power**, 616-620, Bucharest, Romania, (2014).
- [30] Bishop M. T., Baranowski J. F., Heath D. ve Benna S. J., Evaluating harmonic-induced transformer heating, **IEEE Transactions on Power Delivery**, 10, 1, 305-310, (1996).
- [31] Elmoudi A., Lehtonen M. ve Nordman H., Effect of harmonics on transformers loss of life, **Proc. of IEEE Int. Symp. Elect. Insul. Conf. Rec.**, 408 -411, (2006).
- [32] Shareghi M., Phung B. T., Naderi M. S., Blackburn T. R. ve Ambikairajah E., Effects of current and voltage harmonics on distribution transformer losses, **International Conf. on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD) 2012**, 633-636, (2012).
- [33] Soh T. L. G., Said D. M., Ahmad N., Nor K. M. ve Salim F., Experimental study on the impact of harmonics on transformer, **IEEE 7th Int. Power Eng. and Optimization Conf. (PEOCO)**, 686-690, (2013).
- [34] Katırcıoğlu, F., Renkli görüntüler için yusufçuk algoritması kullanılarak benzerlik görüntüsüne dayalı eşikleme, **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 5, 506-523, (2017).

A novel method for solving a class of functional differential equations

Burcu GÜRBÜZ^{1,2*}

¹ Üsküdar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Computer Engineering, Central Campus, Istanbul

² University of Nantes, Jean Leray Mathematics Laboratory, Nantes, France

Geliş Tarihi (Received Date): 27.05.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.10.2019

Abstract

In this work, a novel numerical method based on generalized Laguerre series is introduced. The numerical technique is applied for the solution of a class of functional differential equations with variable delays. This numerical method is substantially related to generalized Laguerre series also its matrix forms as well as collocation points. By error estimation the pertinent features and applicability of the method are demonstrated.

Keywords: Generalized Laguerre series, collocation methods, functional differential equations, variable delays.

Fonksiyonel diferansiyel denklemlerin bir sınıfının çözümü için yeni bir yöntem

Öz

Bu çalışmada, genelleştirilmiş Laguerre serisine dayanan yeni bir sayısal yöntem tanıtıldı. Sayısal teknik, fonksiyonel diferansiyel denklemlerin değişken gecikmeli bir sınıfının çözümü için uygulanır. Bu sayısal yöntem, esas olarak genelleştirilmiş Laguerre serileri ile aynı zamanda matris formları ve sıralama noktaları ile ilgilidir. Hata tahmininde, yöntemin ilgili özellikleri ve uygulanabilirliği gösterilmektedir.

Anahtar kelimeler: Genelleştirilmiş Laguerre serileri, sıralama yöntemleri, fonksiyonel diferansiyel denklemler, değişken gecikmeler.

* Burcu GÜRBÜZ, burcu.gurbuz@uskudar.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-4253-5877>

1. Introduction

In this study, the pantograph type functional differential equations are considered, which involve the functions with hybrid proportional and variable delays, in the form

$$\sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^J P_{kj}(x) y^{(k)}(q_{kj}x + \tau_{kj}(x)) = g(x), \quad 0 \leq a \leq x \leq b < \infty \quad (1)$$

under the mixed conditions

$$\sum_{k=0}^{m-1} (a_{ki} y^{(k)}(a) + b_{ki} y^{(k)}(b)) = \alpha_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, m-1 \quad (2)$$

Here, $P_{kj}(x)$, $\tau_{kj}(x)$ and $g(x)$ are appropriate analytic known functions on the interval $0 \leq a \leq x \leq b < \infty$; q_{kj} , a_{ki} , b_{ki} and α_{ki} are appropriate given constants.

Many real-world phenomena can be modelled by initial or boundary value problems for functional differential equations in the form (1). Generally, these type equations are used to model a wide class of problems in many scientific fields such as engineering, chemical reactions, mathematical physics, biology, ecology, economics, fluid and elastic mechanics, signal processing and industrial processes.

On the other hand, most of such functional differential equations with proportional delays or variable delays cannot be solved exactly. Therefore, it is necessary to design efficient numerical methods to approximate their solutions [1]. The fundamentals and methods for such equations were developed in literature: Oscillation properties [2], global attractivity [3], asymptotic behaviour of solutions [4], stability criteria [5], the existence of positive solutions [6], asymptotic stability [7], the rational approximate method [8], collocation method [5,9], multistep methods [10], Runge Kutta methods [11], block method [12], rational approximation method [13], and one-leg θ - methods [14,15].

In this work, by using the matrix collocation methods which have been developed by Sezer and co-workers for differential-difference equations, delay differential equations with constant delays and pantograph type delay differential equations, a novel method, called ‘‘Generalized Laguerre matrix collocation method’’, is constricted to find the approximate solution of Eq.(1) along with the conditions (2) in the finite generalized Laguerre series form given by

$$y(x) \cong y_N(x) = \sum_{n=0}^N a_n L_n(x, \alpha), \quad 0 \leq a \leq x \leq b < \infty \quad (3)$$

where a_n , $n = 0, 1, \dots, N$ are unknown coefficients to be determined and $L_n(x, \alpha)$, $n = 0, 1, \dots, N$; $N \geq m$ are the generalized Laguerre polynomials.

In order to find the solutions in the form (3), the collocation points are used which are defined by

$$x_r = a + \frac{b-a}{N}r, \quad r = 0, 1, \dots, N \tag{4}$$

2. Some important properties of the generalized Laguerre polynomials

Definition 2.1: Let $(a)_n$ is the Pochhammer symbol and ${}_1F_1(-n; \alpha + 1; x)$ is a confluent hypergeometric function of the first kind. Generalized Laguerre polynomials $L_n(x, \alpha)$ are orthogonal in the interval $[0, +\infty)$ respecting the weight function $\omega(x, \alpha) = x^\alpha e^{-x}$. For $\alpha = 0$, these polynomials become ordinary Laguerre polynomials $L_n(x)$; $L_n(x, 0) = L_n(x)$ which are shown by

$$L_n(x, \alpha) = \frac{(\alpha + 1)_n}{n!} {}_1F_1(-n; \alpha + 1; x).$$

Generating function describes the polynomials $L_n(x, \alpha)$ as

$$(1-t)^{-(\alpha+1)} e^{-xt/(1-t)} = \sum_{n=0}^{+\infty} L_n(x, \alpha) \frac{t^n}{n!}. \tag{5}$$

From the relation (5), recurrence relation of three terms are acquired as

$$(n+1)L_{n+1}(x, \alpha) = (2n+\alpha+1-x)L_n(x, \alpha) - (n+\alpha)L_{n-1}(x, \alpha) \tag{6}$$

with starting values $L_0(x, \alpha) = 1, L_1(x, \alpha) = \alpha + 1 - x$.

Expanding the left side of (5) in powers of t , and then comparing coefficients with t^n , the explicit representation of $L_n(x, \alpha)$ is obtained as

$$\begin{aligned} L_n^\alpha(x) &= \sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} \frac{\Gamma(\alpha + n + 1)}{\Gamma(\alpha + k + 1)} \\ &= \sum_{k=0}^n (-1)^k \frac{(\alpha + n + 1)_{n-k}}{k!(n-k)!} \end{aligned}$$

where

$$(s)_n = s(s+1)(s+2)\dots(s+n-1) = \frac{\Gamma(s+n)}{\Gamma(s)}$$

is defined by Pochhammer symbol and Γ is the gamma function [16]. The polynomial $L_n(x, \alpha)$ is a particular solution of the differential equation

$$xy'' + (\alpha + 1 - x)y' + ny = 0, \quad n, \alpha \in \mathbb{N}$$

The polynomial $L_n(x, \alpha)$ has the following some representations,
Explicit representation:

$$L_n(x, \alpha) = \sum_{k=0}^n \frac{(-1)^k}{k!} \binom{n+\alpha}{n-k} x^k \quad (7)$$

Rodrigues formula:

$$L_n(x, \alpha) = \frac{x^{-\alpha} e^x}{n!} \frac{d^n}{dx^n} (x^{n+\alpha} e^{-x}) \quad (8)$$

Derivative relations:

$$\frac{d^k}{dx^k} L_n^{(\alpha)}(x, \alpha) = (-1)^k L_{n-k}^{(\alpha+k)}(x, \alpha) \quad (9)$$

Integral relations:

$$\int_x^{\infty} e^{-t} L_n(t, \alpha) dt = e^{-x} \{L_n(x, \alpha) - L_{n-1}(x, \alpha)\}$$

$$L_n(x, \alpha) = \frac{1}{2\pi i} \oint \frac{e^{-xz/(1-z)}}{(1-z)^{\alpha+1} z^{n+1}} dz$$

The first three generalized Laguerre polynomials:

$$L_0(x, \alpha) = 1$$

$$L_1(x, \alpha) = \alpha + 1 - x$$

$$L_2(x, \alpha) = \frac{1}{2!} [x^2 - 2(\alpha+2)x + (\alpha+1)(\alpha+2)]$$

$$L_3(x, \alpha) = \frac{1}{3!} [-x^3 - 3(\alpha+3)x^2 + 3(\alpha+2)(\alpha+3)x - (\alpha+1)(\alpha+2)(\alpha+3)].$$

3. Fundamental matrix relations and generalized Laguerre matrix-collocation method

Firstly, for solving the problem (1)-(2), the expressions defined in (1), (2) and (3) are converted to matrix forms; then, by means of these matrices, then the generalized Laguerre matrix-collocation method is constructed.

Now, for purpose the truncated Laguerre series (3) in the matrix form is written

$$y(x) \cong y_N(x) = \mathbf{L}(x, \alpha) \mathbf{A} \quad (10)$$

where

$$\mathbf{L}(x, \alpha) = [L_0(x, \alpha) \quad L_1(x, \alpha) \quad \dots \quad L_N(x, \alpha)]$$

$$\mathbf{A} = [a_0 \quad a_1 \quad \dots \quad a_N]^T.$$

Also, by using the generalized Laguerre polynomials $L_n(x, \alpha)$ defined by (6), (7) or (8), the matrix $L_n(x, \alpha)$ can be written as follows;

$$\mathbf{L}(x, \alpha) = \mathbf{X}(x)\mathbf{M}(\alpha) \tag{11}$$

where

$$\mathbf{X}(x) = [1 \quad x^1 \quad \dots \quad x^N]$$

$$\mathbf{M}(\alpha) = \begin{bmatrix} \frac{(-1)^0}{0!} \binom{0+\alpha}{0} & \frac{(-1)^0}{0!} \binom{1+\alpha}{1} & \frac{(-1)^0}{0!} \binom{2+\alpha}{2} & \dots & \frac{(-1)^0}{0!} \binom{N+\alpha}{N} \\ 0 & \frac{(-1)^1}{1!} \binom{1+\alpha}{0} & \frac{(-1)^1}{1!} \binom{2+\alpha}{1} & \dots & \frac{(-1)^1}{1!} \binom{N+\alpha}{N-1} \\ 0 & 0 & \frac{(-1)^2}{2!} \binom{2+\alpha}{0} & \dots & \frac{(-1)^2}{2!} \binom{N+\alpha}{N-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{(-1)^N}{N!} \binom{N+\alpha}{0} \end{bmatrix}$$

From the relations (10) and (11), the matrix form is obtained

$$[y_N(x)] = \mathbf{X}(x)\mathbf{M}(\alpha)\mathbf{A}. \tag{12}$$

Further admitted relation between the matrix $\mathbf{X}(x)$ and its k -th order derivative $\mathbf{X}^{(k)}(x)$ is described as

$$\mathbf{X}^{(k)}(x) = \mathbf{X}(x)\mathbf{B}^k \tag{13}$$

where

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & N \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

By using the relations (12) and (13), the recurrence relations are obtained

$$\begin{aligned} \left[y_N^{(k)}(x) \right] &= \mathbf{X}^{(k)}(x) \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{A} \\ &= \mathbf{X}(x) \mathbf{B}^k \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{A}, \quad k = 0, 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (14)$$

By putting $x \rightarrow q_{kj}x + \tau_{kj}(x)$ into (14),

$$\begin{aligned} \left[y^{(k)}(q_{kj}x + \tau_{kj}(x)) \right] &= \mathbf{X}^{(k)}(q_{kj}x + \tau_{kj}(x)) \mathbf{B}^k \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{A} \\ &= \mathbf{X}(x) \mathbf{T}(q_{kj}x + \tau_{kj}(x)) \mathbf{B}^k \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{A} \end{aligned} \quad (15)$$

is obtained where

$$\mathbf{T}(q_{kj}, \tau_{kj}(x)) = \begin{bmatrix} \binom{0}{0} (q_{kj})^0 (\tau_{kj}(x))^0 & \binom{1}{0} (q_{kj})^0 (\tau_{kj}(x))^1 & \dots & \binom{N}{0} (q_{kj})^0 (\tau_{kj}(x))^N \\ 0 & \binom{1}{1} (q_{kj})^1 (\tau_{kj}(x))^0 & \dots & \binom{N}{1} (q_{kj})^1 (\tau_{kj}(x))^{N-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \binom{N}{N} (q_{kj})^N (\tau_{kj}(x))^0 \end{bmatrix}.$$

Note that the matrix $\mathbf{X}(q_{kj}x + \tau_{kj}(x))$ can be written as

$$\mathbf{X}(q_{kj}x + \tau_{kj}(x)) = \mathbf{X}(x) \mathbf{T}(q_{kj}, \tau_{kj}(x)).$$

By substituting (15) into Eq. (1) and then, by placing the collocation points x_r defined by (4), respectively, the matrix equation

$$\sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^J \mathbf{P}_{kj}(x) \mathbf{X}(x) \mathbf{T}(q_{kj}x + \tau_{kj}(x)) \mathbf{B}^k \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{A} = \mathbf{g}(x)$$

is gained and the system of matrix equations, for $r = 0, 1, \dots, N$

$$\sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^J \mathbf{P}_{kj}(x_r) \mathbf{X}(x_r) \mathbf{T}(q_{kj}x_r + \tau_{kj}(x_r)) \mathbf{B}^k \mathbf{M}(\alpha) \mathbf{A} = \mathbf{g}(x_r). \quad (16)$$

The compact form of the system (16), which is the fundamental matrix equation for Eq. (1), can be written as

$$\left(\sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^J \mathbf{P}_{kj}(x_r) \overline{\mathbf{X}} \overline{\mathbf{T}} \overline{\mathbf{B}}^k \overline{\mathbf{M}}(\alpha) \right) \mathbf{A} = \mathbf{G} \quad (17)$$

where

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{kj} &= \text{diag} [P_{kj}(x_0) \quad P_{kj}(x_1) \quad \dots \quad P_{kj}(x_N)], \\ \bar{\mathbf{X}} &= \text{diag} [\mathbf{X}(x_0) \quad \mathbf{X}(x_1) \quad \dots \quad \mathbf{X}(x_N)], \\ \bar{\mathbf{T}}_{kj} &= \text{diag} [\mathbf{T}(q_{kj}x_0 + \tau_{kj}(x_0)) \quad \mathbf{T}(q_{kj}x_1 + \tau_{kj}(x_1)) \quad \dots \quad \mathbf{T}(q_{kj}x_N + \tau_{kj}(x_N))], \\ \bar{\mathbf{B}}^k &= \text{diag} [\mathbf{B}^k \quad \mathbf{B}^k \quad \dots \quad \mathbf{B}^k], \\ \bar{\mathbf{M}}(\alpha) &= \begin{bmatrix} \mathbf{M}(\alpha) \\ \mathbf{M}(\alpha) \\ \vdots \\ \mathbf{M}(\alpha) \end{bmatrix}, \mathbf{G} = \begin{bmatrix} g(x_0) \\ g(x_1) \\ \vdots \\ g(x_N) \end{bmatrix}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

In Eq.(17), the full dimensions of the matrices \mathbf{P}_{kj} , $\bar{\mathbf{X}}$, $\bar{\mathbf{T}}_{kj}$, $\bar{\mathbf{B}}^k$, $\bar{\mathbf{M}}(\alpha)$, \mathbf{A} and \mathbf{G} , respectively, are $(N+1) \times (N+1)$, $(N+1) \times (N+1)^2$, $(N+1)^2 \times (N+1)^2$, $(N+1)^2 \times (N+1)^2$, $(N+1)^2 \times (N+1)$, $(N+1) \times 1$ and $(N+1) \times 1$. The fundamental matrix equation (17) is denoted in the form

$$\mathbf{WA} = \mathbf{G} \quad \text{or} \quad [\mathbf{W}; \mathbf{G}] \tag{18}$$

where

$$\mathbf{W} = [\omega_{pq}] = \sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^J \mathbf{P}_{kj} \bar{\mathbf{X}} \bar{\mathbf{T}}_{kj} \bar{\mathbf{B}}^k \bar{\mathbf{M}}(\alpha), \quad p, q = 0, 1, \dots, N$$

By means of the relation (14), equivalent matrix forms of the conditions (2) are obtained as [17]

$$\mathbf{V}_i \mathbf{A} = \alpha_i \quad \text{or} \quad [\mathbf{V}_i; \alpha_i] \tag{19}$$

where

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_i &= \sum_{k=0}^{m-1} (a_{ki} \mathbf{X}(a) + b_{ki} \mathbf{X}(b)) \mathbf{B}^k \mathbf{M}(\alpha) \\ &= [v_{i0} \quad v_{i1} \quad \dots \quad v_{iN}], \quad i = 0, 1, 2, \dots, m-1 \end{aligned}$$

Eventually, in order to solve the problem (1)-(2) m rows of the matrix (19) by the last m rows of (18) are substituted. So that the following new augmented matrix

$$[\tilde{\mathbf{W}}; \tilde{\mathbf{G}}] \quad \text{or} \quad \tilde{\mathbf{W}} \mathbf{A} = \tilde{\mathbf{G}} \tag{20}$$

is obtained. If $\text{rank}(\tilde{\mathbf{W}}) = \text{rank}[\tilde{\mathbf{W}}; \tilde{\mathbf{G}}] = N+1$, then

$$\mathbf{A} = (\tilde{\mathbf{W}})^{-1} \tilde{\mathbf{G}}$$

is written. Thus the matrix \mathbf{A} , thereby the coefficients a_n , $n = 0, 1, \dots, N$, is uniquely determined; problem (1)-(2) has one-of-a-kind solution. On the other hand, if $\text{rank}(\tilde{\mathbf{W}}) \neq \text{rank}[\tilde{\mathbf{W}}; \tilde{\mathbf{G}}]$, the problem (1)-(2) has not any solution.

4. Error analysis

The accuracy of the solutions is checked by resulting equation. The function $y_N(x)$ and derivatives of the function are alternated in Eq. (1). It is already known that the truncated Laguerre series (3) is approximate solution of (1). So that, the resulting equation must be provided approximately.

Namely, for $x = x_i \in [a, b]$, $i = 0, 1, 2, \dots$

$$R_N(x_i) = \sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^J P_{kj}(x_i) y^{(k)}(q_{kj}x_i + \tau_{kj}(x_i)) = g(x_i) \cong 0$$

or

$$R_N(x_i) \leq 10^{-k_i}, \quad (k_i \text{ is any positive integer})$$

If $\max 10^{-k_i} = 10^{-k}$ ($k \in \mathbb{Z}^+$), then the truncation limit N is rised. This behavior continues till the difference $R_N(x_i)$ grows into the smaller value than 10^{-k} at the each of the points. However, using the residual function defined by $R_N(x)$ and the mean value of the function $|R_N(x)|$ on the interval $[a, b]$, the accuracy of the solution can be controlled and the error can be estimated. If $R_N(x) \rightarrow 0$ when N is sufficiency large enough, then the error declines. Moreover, Mean Value Theorem is used for estimating the upper bound of the mean error \bar{R}_N as

$$\begin{aligned} \left| \int_a^b R_N(x) dx \right| &\leq \int_a^b |R_N(x)| dx \quad \text{and} \quad \int_a^b R_N(x) dx = (b-a) R_N(c), \quad a \leq c \leq b \\ \Rightarrow \left| \int_a^b R_N(x) dx \right| &= (b-a) |R_N(c)| \\ \Rightarrow (b-a) |R_N(c)| &\leq \int_a^b |R_N(x)| dx \\ |R_N(c)| &\leq \frac{\int_a^b |R_N(x)| dx}{b-a} = \bar{R}_N, \quad a \leq c \leq b. \end{aligned}$$

5. Illustrative examples

In this section, some illustrations will be introduced to establish the efficiency of our method on the high-order linear pantograph-type functional differential equations with mixed proportional and variable delays. All the problems have been calculated by using Maple18 and the graphics have been plotted by MatlabR2014b.

Example 5.1: First deal with a high-order linear pantograph-type functional differential equation

$$y''(x) + y'(x - \sin(x)) + 2xy(x) = 2x^3 - 2\sin(x) + 2, \quad 0 \leq x \leq 1 \tag{21}$$

with initial conditions

$$y(0) = -1, \quad y'(0) = 0.$$

where $P_{01} = 2x, P_{10} = 1, P_{20} = 1, g(x) = 2x^3 - 2\sin(x) + 2$. Now, let us seek the solution $y(x)$ as a truncated generalized Laguerre series by putting $N = 2$ in Eq. (3). For this purpose, the set of collocation points (4) is calculated for $N = 2$.

$$\{x_0 = 0, x_1 = 1/2, x_2 = 1\}$$

and from Eq. (21), the fundamental matrix equation of the problem is gained as

$$\left\{ P_{01} \overline{X} \overline{M}(\alpha) + P_{10} \overline{X} \overline{T}_{10} \overline{B} \overline{M}(\alpha) + P_{20} \overline{X} \overline{B}^2 \overline{M}(\alpha) \right\} \mathbf{A} = \mathbf{G}.$$

Then, by applying the procedure in Section 3, the fundamental matrix relations for the equation and conditions are computed and the Laguerre coefficients are found. The same procedure is repeated for $N = 5$ and $N = 30$. The results are outlined by the graphics. Figure 1 displays the results for comparing exact and approximate solutions for $N = 2, 5, 30$ values. Moreover, Figure 2 displays the results for comparing error functions for the same N values in previous figure.

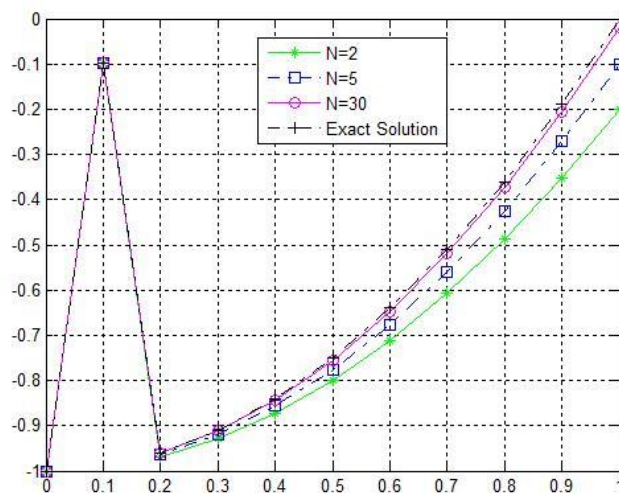


Figure 1. Numerical and exact solution $y(x) = x^2 - 1$ of the Example 5.1. for $N = 2, 5, 30$.

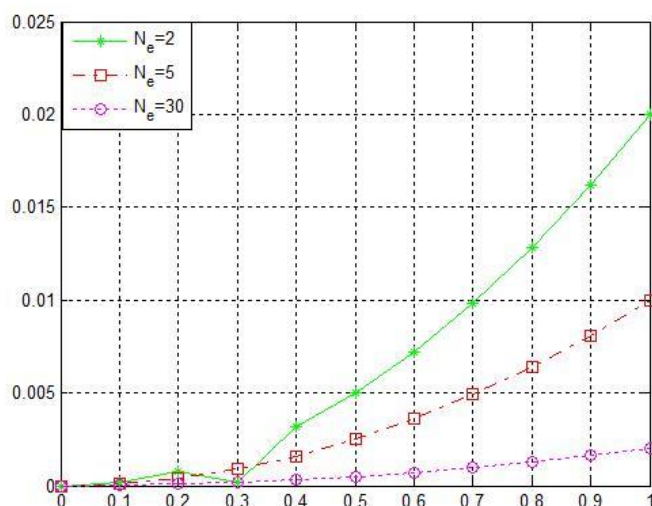


Figure 2. Comparison of the absolute errors of the Example 5.1. for $N = 2, 5, 30$.

Example 5.2: Consider high-order linear pantograph-type functional differential equation with mixed proportional and variable delay

$$y'''(x) - e^{\left(\frac{-2x}{3}\right)} y' \left(\frac{x}{3} \right) - 2e^x y(x - e^{-x}) = -2e^{e^{-x}} - 2\sin(x) + 2, \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (22)$$

with initial conditions

$$y(0) = 1, \quad y'(0) = -1, \quad y''(0) = 1.$$

and the exact solution of Example 5.2. is; $y(x) = e^{-x}$.

Table 1 shows the comparison between absolute errors of novel method based on generalized Laguerre polynomial solutions (NMLPS) and Taylor collocation method (TCM) for the different N values of Example 5.2.

Table 1. Comparison of the absolute errors for $N = 5, 20$, NMLPS and TCM methods of Example 5.2.

The absolute errors				
	TCM	NMLPS	TCM	NMLPS
x	R_5	R_5	R_{20}	R_{20}
0.0	0.70500E-05	4.000000E-06	0.10000E-18	0.0000000000
0.1	0.14952E-05	3.520951E-06	0.15020E-08	1.004450E-10
0.2	0.65413E-05	2.624813E-06	0.63456E-08	4.123521E-10
0.3	0.62344E-05	4.642222E-06	0.14223E-10	9.844450E-12
0.4	0.42322E-04	5.195428E-05	0.25746E-07	1.020651E-09
0.5	0.35462E-04	2.456654E-05	0.38552E-07	2.510012E-09
0.6	0.54236E-04	1.395122E-04	0.54621E-07	3.951237E-09
0.7	0.95175E-03	3.753951E-04	0.74500E-06	4.511933E-08
0.8	0.94269E-03	7.751483E-04	0.94066E-06	6.110281E-08
0.9	0.62451E-03	1.215996E-03	0.11599E-06	8.088510E-08
1.0	0.42116E-03	2.951517E-03	0.14511E-06	9.711220E-08

Example 5.3: Consider first-order differential equation with variable delays

$$y'(x) - xy(x) - xe^{3x^2/4} y\left(x - y\left(\frac{x}{2}\right)\right) = 0, \quad 0 \leq x \leq 1$$

with initial condition $y(0) = 1$. Table 2 shows the comparison between absolute errors of novel method based on generalized Laguerre polynomial solutions (NMLPS) for the different N values of Example 5.3.

Table 2. Comparison of the residual functions of Example 5.3.

Error analysis $ R_N(x) $				
x	Exact Solution	$ \bar{R}_6 $	$ \bar{R}_8 $	$ \bar{R}_{10} $
0.0	1.000000000	5.000000E-06	0.10000E-10	0.000000000
0.1	1.010050167	3.125400E-06	0.22300E-08	1.112950E-10
0.2	1.040810774	7.852951E-06	0.64402E-08	7.445622E-10
0.3	1.094174284	1.781943E-06	0.14408E-08	7.712320E-10
0.4	1.173510871	9.155120E-05	0.22653E-07	3.020052E-09
0.5	1.284025417	1.777659E-05	0.26698E-07	2.516922E-09
0.6	1.433329415	3.122235E-04	0.41123E-07	2.598633E-09
0.7	1.632316220	3.111912E-04	0.74344E-06	1.325566E-08
0.8	1.896480879	5.667833E-04	0.45962E-06	2.775483E-08
0.9	2.247907987	7.218861E-03	0.11135E-06	2.599174E-08
1.0	2.718281828	7.112030E-03	0.11148E-06	3.885955E-08

Example 5.4: Consider first-order linear pantograph-type functional differential equation with variable delays

$$y'(x) + xy(x - \ln(x + \varepsilon)) + y(x) = x^2 e^{-x}, \quad 0 \leq x \leq 1$$

with initial condition

$$y(0) = 1.$$

and the exact solution of Example 5.4. is; $y(x) = e^{-x}$. Figure 3 shows us correlation between exact and approximate solutions for $N = 5, 13, 17$ values. Figure 4 shows the error functions of Example 5.4. for the same N values.

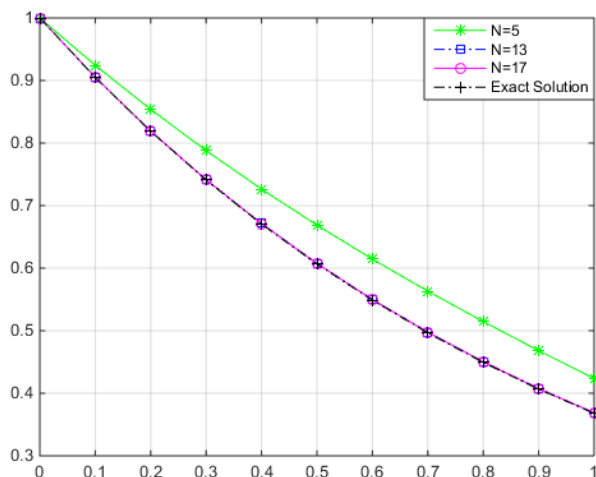


Figure 3. Numerical and exact solution $y(x) = e^{-x}$ of the Example 5.4. for $N = 5, 13, 17$.

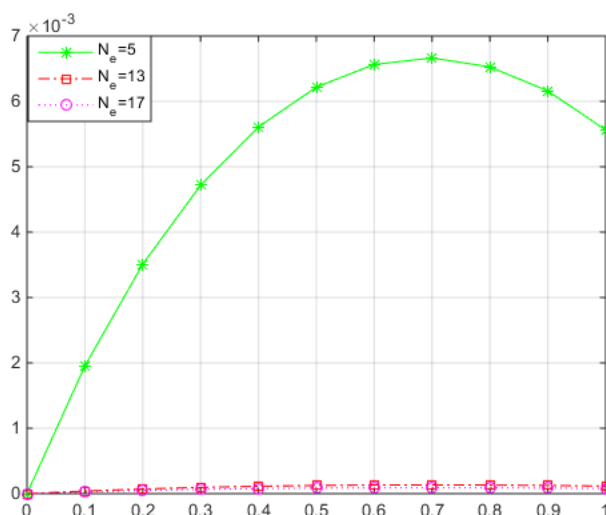


Figure 4. Comparison of the absolute errors of the Example 5.4. for $N = 5, 13, 17$.

6. Conclusions

In this task, the novel method based on generalized Laguerre polynomials have been presented and illustrated to obtain the numerical solutions of high-order linear pantograph-type functional differential equations with mixed proportional and variable delays. This is commonly demanding assignment to find analytical solutions of the model. Also they play main role on biology, ecology, economics and fluid and elastic mechanics, etc. [18], [19].

Anyhow, finding the approximate solutions of these type of problems are needed. Accordingly, the presented novel method can be planned. The technique is built on the computation of the coefficients in the Laguerre expansion of solution of the high-order linear pantograph-type functional differential equations with mixed proportional and variable delays [20-23].

As a result, the novel method can also be lengthened and widen to any other type models [24]. However, some alterations are essential.

Acknowledgments

The author would like to thank the Embassy of France in Turkey for their support her as “2019 Young Visiting Research Fellow”; to the University of Nantes, Jean Leray Mathematics Laboratory to use all the facilities in the department required for completing the work.

References

- [1] Gürbüz, B., Sezer, M., Laguerre polynomial approach for solving Lane-Emden type functional differential equations, **Applied Mathematics and Computation**, 242, 255-264, (2014).
- [2] Dix, J. G., Asymptotic behavior of solutions to a first-order differential equation with variable delays, **Computers & Mathematics with Applications**, 50, 10-12, 1791-1800, (2005).
- [3] Graef, J. R., Qian, C., Global attractivity in differential equations with variable delays, **The ANZIAM Journal**, 41, 4, 568-579, (2000).
- [4] Syski, R., Saaty, T. L., **In Modern Nonlinear Equations**, McGraw-Hill, New York, (1967).
- [5] Ishiwata, E., Muroya, Y., Brunner, H., A super-attainable order in collocation methods for differential equations with proportional delay, **Applied Mathematics and Computation**, 198, 1, 227-236, (2008).
- [6] Caraballo, T., Langa, J. A., Robinson, J. C., Attractors for differential equations with variable delays, **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, 260, 2, 421-438, (2001).
- [7] Diblík, J., Svoboda, Z., Šmarda, Z., Explicit criteria for the existence of positive solutions for a scalar differential equation with variable delay in the critical case, **Computers & Mathematics with Applications**, 56, 2, 556-564, (2008).
- [8] Bellen, A., Zennaro, M., **Numerical methods for delay differential equations**, Oxford University Press, (2013).
- [9] Reutskiy, S. Y., A new collocation method for approximate solution of the pantograph functional differential equations with proportional delay, **Applied Mathematics and Computation**, 266, 642-655, (2015).
- [10] Hu, P., Huang, C., Wu, S., Asymptotic stability of linear multistep methods for nonlinear neutral delay differential equations, **Applied Mathematics and Computation**, 211, 1, 95-101, (2009).
- [11] Wang, W., Zhang, Y., Li, S., Stability of continuous Runge-Kutta-type methods for nonlinear neutral delay-differential equations, **Applied Mathematical Modelling**, 33, 8, 3319-3329, (2009).
- [12] Ishak, F., Suleiman, M. B., Majid, Z. A., Block method for solving pantograph-type functional differential equations, **In Proceedings of the World Congress on Engineering**, 2, (2013).
- [13] Ishiwata, E., Muroya, Y., Rational approximation method for delay differential equations with proportional delay, **Applied Mathematics and Computation**, 187, 2, 741-747, (2007).
- [14] Wang, W. S., Li, S. F., On the one-leg θ -methods for solving nonlinear neutral functional differential equations, **Applied Mathematics and Computation**, 193, 1, 285-301, (2007).

- [15] Wang, W., Qin, T., Li, S., Stability of one-leg θ -methods for nonlinear neutral differential equations with proportional delay, **Applied Mathematics and Computation**, 213, 1, 177-183, (2009).
- [16] Arfken, G. B., Weber, H. J., Mathematical methods for physicists, Elsevier Inc., (1999).
- [17] Gürbüz, B., Sezer, M., A numerical solution of parabolic-type Volterra partial integro-differential equations by Laguerre collocation method, **International Journal of Applied Physics and Mathematics**, 7, 1, 49, (2017).
- [18] Liu, X. G., Tang, M. L., Martin, R. R., Periodic solutions for a kind of Liénard equation, **Journal of Computational and Applied Mathematics**, 219, 1, 263-275, (2008).
- [19] Schley, D., Shail, R., Gourley, S. A., Stability criteria for differential equations with variable time delays, **International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology**, 33, 3, 359-375, (2002).
- [20] Yıldızhan, I., Kürkçü, O. K., Sezer, M., A numerical approach for solving pantograph-type functional differential equations with mixed delays using Dickson polynomials of the second kind, **Journal of Science and Arts**, 18, 3, 667-680, (2018).
- [21] Zhang, B., Fixed points and stability in differential equations with variable delays, **Nonlinear Analysis, Theory, Methods and Applications**, 63, 5-7, 233-242, (2005).
- [22] Özer, S., An effective numerical technique for the Rosenau-KdV-RLW equation, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 20, 3, 1-14, (2018).
- [23] Görgülü, M. Z., Irk, D., Numerical solution of modified regularized long wave equation by using cubic trigonometric B-spline functions, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 21, 1, 126-138, (2019).
- [24] Düşünceli F, Çelik E., Numerical solution for high-order linear complex differential equations with variable coefficients, **Numerical Methods for Partial Differential Equations**, 34, 5, 1645-58, (2018).

Olabilirlik ortalama – varyans modelinin matematiksel analizi

Furkan GÖKTAŞ¹, Ahmet DURAN^{2,*}

¹Karabük Üniversitesi İşletme Fakültesi, Demir Çelik kampüsü, Karabük

²İstanbul Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, Ayazağa kampüsü, İstanbul

Geliş Tarihi (Received Date): 26.07.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 24.10.2019

Öz

Olabilirlik ortalama – varyans (OV) modeli, kesin olmayan olasılığın modellenmesine ve kişisel yarguların ve beklentilerin portföy seçimi problemine entegre edilebilmesine imkan verir. Bu nedenle Markovitz'in geleneksel OV modelinin dikkate değer bir alternatifidir. Bu çalışmada varlık getirilerinin olabilirlik dağılımlarının üçgensel bulanık sayılar ile verildiği varsayımı altında bu modelin matematiksel analizi yapılmıştır. Bu kapsamda performansı ya da faydayı maksimum yapan portföyler analitik olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu modelin verdiği etkin sınırın yapısı örnekler ile açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Portföy seçimi, olabilirlik teorisi, üçgensel bulanık sayılar, ortalama – varyans modeli, etkin sınır, lineer programlama.

Mathematical analysis of the possibilistic mean – variance model

Abstract

The possibilistic mean – variance (MV) model enables the practitioners to model the imprecise probability and integrate their subjective judgements into the portfolio selection problem. Thus, it is a considerable alternative of the Markowitz's traditional MV model. In this study, we analyze this model mathematically under the assumption that the possibility distributions of asset returns are given with the triangular fuzzy numbers. Within this scope, the portfolios which maximize the utility or performance are derived analytically. Furthermore, we illustrate the structure of its efficient frontier with examples.

Furkan GÖKTAŞ, furkangoktas@karabuk.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9291-3912>

* Ahmet DURAN, aduran@itu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9835-0006>

Keywords: *Portfolio selection, possibility theory, triangular fuzzy numbers, mean - variance model, efficient frontier, linear programming.*

1. Giriş

[1]'de tanıtılan Markovitz'in geleneksel OV modeli, portföy yönetimi teorisi üzerinde derin bir etki bırakmıştır [2]. Öte yandan bu model, parametrelerinin tahminindeki istatistiksel hatalardan dolayı uygulamada pek tercih edilmez. Bu problemin çözümünde dayanıklı OV modelleri kullanılabilir [2-5]. Ama bu modeller en kötü durum odaklı olduklarından genellikle tutucu olmayan yatırımcılar için uygun değildir [5, 6]. Ayrıca bu modeller önemli bilgi taşıyabilen daha üst momentleri ihmal ederler [7, 8]. Kesin olmayan olasılıkla mücadelede [9]'da tanıtılan ve tahmin hatasının etkisini azaltan Bayesyen yaklaşım da kullanılabilir. Bu yaklaşımda örneklem ortalama vektörü, genellikle varyansı minimum yapan portföyün ortalamasına yaklaştırılır. Bu nedenle portföyde risksiz varlığın bulunmadığı durumlarda Bayesyen yaklaşım ve parametrelerin yansız tahminlerini kullanan Markovitz'in geleneksel yaklaşımı özdeş etkin sınır verir [4].

[10]'da tanıtılan Olabilirlik OV modeli, yukarıda bahsedilen modellerin aksine Olasılık Teorisine değil Olabilirlik Teorisine dayanır ve veri setindeki çarpıklığı dikkate alır. Ayrıca Bayesyen yaklaşım gibi kişisel yargıların ve beklentilerin portföy seçimine entegre edilebilmesine imkan verir [10, 11]. Bu model varlık getirilerinin olabilirlik dağılımları, dört parametre ile tanımlanan yamuk bulanık sayılarla verildiğinde Sıralı Minimal Optimizasyon (SMO) algoritması ile etkili bir şekilde çözülebilir [12]. Bu olabilirlik dağılımları, üç parametre ile tanımlanan üçgensel bulanık sayılar ile verildiğinde ise bu model lineer programla problemine indirgenir ve Simpleks algoritma ile kolayca çözülür [11]. Buradaki üç parametre ilgili varlığın elde tutma (modelleme) periyodundaki getiri öngörüsü için sırasıyla en kötü duruma, temel duruma ve en iyi duruma karşı gelmektedir. Ayrıca bu model, en kötü durum odaklı olmadığından tutucu olmayan yatırımcılar için de uygundur. Bu nedenlerden ötürü belirsizlik altında portföy seçiminde dikkate değer bir alternatif olarak görülebilir.

Teorideki ve pratikteki önemine karşın, bu olabilirlik dağılımlarının üçgensel bulanık sayılar ile verildiği varsayımı altında olabilirlik OV modelinin matematiksel analizi bildiğimiz kadarıyla yapılmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurabilmek amacıyla Bölüm 2'de Olabilirlik Teorisindeki temel kavramlar verildikten sonra Bölüm 3'te bu model, bu varsayım altında teorik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda faydayı ya da performansı maksimum yapan portföyler analitik olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte Bölüm 4'te farklı etkin sınır yapıları örnekler ile açıklanmıştır. Bölüm 5'teki değerlendirmeler ile çalışma sonuçlandırılmıştır.

2. Olabilirlik teorisindeki temel kavramlar

Olabilirlik Teorisinde olabilirlik, klasik yaklaşımda limit frekansları olarak tanımlanan olasılığın yerini alır. Olabilirlik kavramı, olayların meydana gelme eğilimi ile ilgili olan akla uygunluğu işaret eder. Bu teoride, olasılık ölçüsünden farklı olarak "self-dual" olmayan iki farklı ölçü kullanılır. Burada, olabilirlik ölçüsü bir olayın akla uygunluğunu temsil ederken, gereklilik ölçüsü olayın kesinliğini temsil eder [13]. Bu

ölçüler olabilirlik dağılımları kullanılarak tanımlanmaktadır. Bu dağılımlar ise geçmiş veriler veya kişisel yargılar ve beklentiler doğrultusunda belirlenebilir ve bu çalışmada olduğu gibi genellikle bulanık sayılarla verilir. Bu nedenlerden ötürü bu bölümde bulanık sayılar ve Olabilirlik Teorisi hakkındaki temel kavramlar [14, 15]'ten yararlanılarak kısaca verilmiştir.

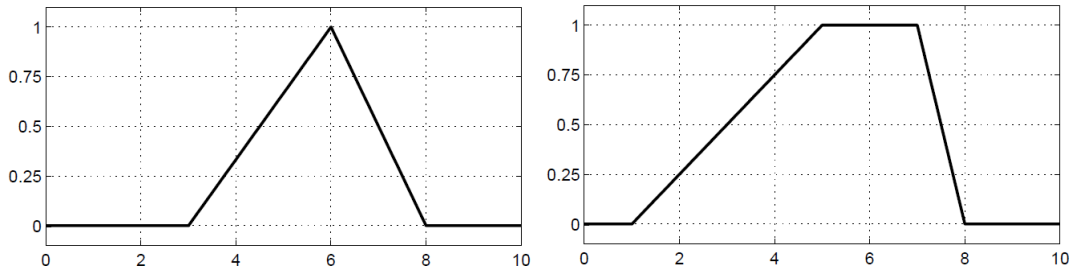
Tanım 1: \bar{Y} üyelik fonksiyonu $\nu(y)$ olan bulanık küme olsun. \bar{Y} 'nin α -kesmesi, K kapanış operatörü olmak üzere aşağıdaki gibidir. Q ise \bar{Y} 'nin desteğidir.

$$Y^\alpha = \begin{cases} \{y : \nu(y) \geq \alpha\}, \alpha > 0 \\ Q := K(\{y : \nu(y) > \alpha\}), \alpha = 0. \end{cases} \quad (1)$$

\bar{Y} 'nin sürekli olan aşağıdaki üyelik fonksiyonu $b \leq y \leq c$ aralığında artan ve $d \leq y \leq e$ aralığında azalan fonksiyon olsun. O zaman \bar{Y} bulanık sayıdır. Ayrıca $h(y)$ ve $g(y)$ lineer fonksiyon ve $c = d$ ($c \neq d$) ise üçgensel (yamuk) bulanık sayı olarak adlandırılır.

$$\nu(y) = \begin{cases} 0, y \leq b \\ h(y), y \in [b, c] \\ 1, y \in [c, d] \\ g(y), y \in [d, e] \\ 0, y \geq e. \end{cases} \quad (2)$$

Şekil 1'de sırasıyla (3, 6, 8) üçgensel bulanık sayısının üyelik fonksiyonu ve (1, 5, 7, 8) yamuk bulanık sayısının üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 1. Üyelik fonksiyonları.

Tanım 2: (Zadeh'in genişletme prensibi) $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^d$ "crisp" fonksiyon, \bar{f} karşı gelen bulanık değerli fonksiyon ve $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n$ bulanık kümeler olsun. O zaman $\bar{Y} = \bar{f}(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n)$ bulanık kümedir ve \bar{Y} 'nin üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\nu(y) = \begin{cases} \sup_{(x_1, x_2, \dots, x_n) \in f^{-1}(y)} \min\{\nu_1(x_1), \nu_2(x_2), \dots, \nu_n(x_n)\}, f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0, f^{-1}(y) = \emptyset. \end{cases} \quad (3)$$

[16]'da verilen Önerme 3, bulanık fonksiyonlarda yapılan işlemler ve dolayısıyla bulanık aritmetik için temel oluşturur.

Önerme 3: $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^d$ sürekli fonksiyon, $d \leq n$ ve $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n$ bulanık sayılar olsun. Tanım 2'ye göre $\forall \alpha \in [0, 1]$ için $Y^\alpha = f(X_1^\alpha, X_2^\alpha, \dots, X_n^\alpha)$ olarak bulunur.

Sonuç 4: Her i için w_i nonnegatif skaler olmak üzere aşağıdaki bilgi geçerlidir. Kısa pozisyon sınırı varken portföy seçimi probleminde bunlar portföydeki n adet varlığın ağırlıklarını gösterir.

$$\sum_{i=1}^n w_i (b_i, c_i, e_i) = \left(\sum_{i=1}^n w_i b_i, \sum_{i=1}^n w_i c_i, \sum_{i=1}^n w_i e_i \right). \quad (4)$$

Tanım 5: y belirsiz değişkeninin (rastgele değişken olmayabilir) olabilirlik dağılımı \bar{Y} bulanık sayısı ile verilsin ve B^c, B kümesinin tümleyeni olsun. O zaman “crisp” kümeler üzerinde olabilirlik ve gereklilik ölçüleri sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Ps(B) := \sup \{v(y) : y \in B\}, \quad (5)$$

$$Ns(B) := 1 - Ps(B^c).$$

Bu ölçüler ve olasılık ölçüsü (P) arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir. Buna göre Olabilirlik Teorisi kesin olmayan olasılık için alt ve üst sınırları belirler.

$$Ns(B) \leq P(B) \leq Ps(B). \quad (6)$$

(5) ve (6)'ya göre aşağıdaki bilgi geçerlidir. Buna göre y sürekli rastgele değişkeninin olasılık ve olabilirlik dağılımlarının destekleri özdeştir ve Y^0 'a eşittir.

$$1 - \alpha = Ns(Y^\alpha) \leq P(Y^\alpha) \leq Ps(Y^\alpha) = 1. \quad (7)$$

3. Olabilirlik ortalama – varyans modelinin teorisi

Bu bölümde olabilirlik OV modeli ile ilgili temel kavramlar verildikten sonra faydayı ya da performansı maksimum yapan portföyler analitik olarak elde edilmiştir.

Tanım 6 ([10, 17]): Belirsiz değişken y 'nin olabilirlik dağılımı \bar{Y} bulanık sayısı ile verilsin. $Y^\alpha = [Y_L(\alpha), Y_R(\alpha)]$, $\forall \alpha \in [0, 1]$ olmak üzere y 'nin olabilirlik ortalaması ve varyansı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$E_p(y) := \int_0^1 \alpha (Y_R(\alpha) + Y_L(\alpha)) d\alpha, \quad (8)$$

$$Var_p(y) := 0.5 \int_0^1 \alpha (Y_R(\alpha) - Y_L(\alpha))^2 d\alpha.$$

Önerme 7 ([10, 11, 17]): Getirilerin rastgele vektörü r ile portföyün ağırlık vektörü w ile gösterilsin. Her i için r_i rastgele değişkeninin olasılık dağılımı (b_i, c_i, e_i) olsun. Zadeh'in genişletme prensibine ve Tanım 6'ya göre aşağıdaki eşitlikler geçerlidir.

$$E_p(w^T r) = \sum_{i=1}^n w_i E_p(r_i) = \sum_{i=1}^n w_i \mu_i = \sum_{i=1}^n w_i \left(\frac{b_i + 4c_i + e_i}{6} \right), \quad (9)$$

$$Var_p(w^T r) = \left(\sum_{i=1}^n |w_i| \sqrt{Var_p(r_i)} \right)^2 = \left(\sum_{i=1}^n |w_i| \sigma_i \right)^2 = \left(\sum_{i=1}^n |w_i| \left(\frac{e_i - b_i}{2\sqrt{6}} \right) \right)^2.$$

Uyarı: Portföy getirisinin olasılık dağılımı, bulanık aritmetik ile bulunur. Özel olarak kısa pozisyon sınırı varken (4)'teki bilgiler geçerlidir. Bu olasılık dağılımının, olasılık ortalaması ve varyansı doğrudan Tanım 6 kullanılarak bulunduğu da (9) ile özdeş sonuçlar elde edilir.

Varlık getirilerinin[†] olasılık dağılımlarının belirlenmesinde standart bir yöntem yoktur. Bunlar geçmiş getiriler ve/veya kişisel yargılar ve beklentiler doğrultusunda belirlenebilir. Örneğin [11]'de sırasıyla geçmiş getirilerin minimumu, ortalaması ve maksimumu kullanılarak belirlenmiştir. Kişisel yargılar ve beklentiler doğrultusunda, bu tanımlayıcı istatistiklerden elde edilen değerler artırılabilir veya azaltılabilir.

Uygun çözüm kümesi (S) konveks ve kapalı olmak üzere olasılık OV modeli aşağıdaki çok amaçlı konkav maksimizasyon problemi ile verilebilir.

$$\sup_{w \in S} (E_p(w^T r)) \wedge (-Var_p(w^T r)). \quad (10)$$

Çok amaçlı konkav maksimizasyon problemleri için ağırlıklı amaç metodu etkin sınırı tam olarak verir [18]. Bu nedenle (10) ve (11) problemlerinin etkin sınırları özdeştir. (11)'de ilk amacın ağırlığı olan β , $[0,1]$ arasında değişmektedir.

$$\sup_{w \in S} \beta \left(\sum_{i=1}^n w_i \mu_i \right) + (1 - \beta) \left(- \left(\sum_{i=1}^n |w_i| \sigma_i \right) \right). \quad (11)$$

Uyarı: Önerme 7'ye göre aşağıdaki bilgi geçerlidir. Buna göre olasılık ortalaması ve standart sapması zamanın lineer fonksiyonudur. Bu nedenle olasılık OV modelinin sonucu, Markovitz'in geleneksel OV modelinde olduğu gibi elde tutma periyodunun süresinden (t) bağımsızdır.

[†] Elde tutma periyodu için ek (risksiz faiz oranı üzerindeki) logaritmik getiriler.

$$E_p \left(\sum_{j=1}^t r_{i,j} \right) = t\mu_i, \quad (12)$$

$$Var_p \left(\sum_{j=1}^t r_{i,j} \right) = t^2 \sigma_i^2.$$

Önerme 7'e göre tüm varlıkların arasındaki olabilirlik korelasyonu 1'dir. Hatta A varlığının uzun pozisyonu ile B varlığının hem uzun pozisyonu hem de kısa pozisyonu arasındaki olabilirlik korelasyonları 1'dir. Ayrıca olabilirlik dağılımlarından bağımsız olarak olabilirlik korelasyonları her zaman için nonnegatiftir [17]. Bu nedenle bu model ile ilgili aşağıdaki bilgiler verilebilir.

- Yalnızca kısa pozisyon sınırı varken finansal olarak anlamlı sonuç verir.
- Markovitz'in geleneksel OV modelindeki durumun aksine portföyü çeşitlendirme yaklaşımı risk azaltmada kullanılamaz.

[1]'de olduğu gibi portföyde kısa pozisyon ve risksiz varlık bulunmasın. Buna göre S aşağıdaki gibidir.

$$S = \left\{ w : \sum_{i=1}^n w_i = 1 \wedge w_i \geq 0, \forall i \right\}. \quad (13)$$

Ayrıca (11) aşağıdaki lineer maksimizasyon problemine indirgenir.

$$\sup \left\{ \sum_{i=1}^n w_i (\beta\mu_i + (\beta-1)\sigma_i) : \sum_{i=1}^n w_i = 1 \wedge w_i \geq 0, \forall i \right\}. \quad (14)$$

Portföyün toplamsal fayda fonksiyonu, i . varlığın faydası $\theta_i := (\beta\mu_i + (\beta-1)\sigma_i)$ olmak üzere aşağıdaki gibidir.

$$\sum_{i=1}^n w_i \theta_i. \quad (15)$$

Anlatım kolaylığını sağlamak amacıyla bu çalışmada aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

- V1: En az bir varlığın olabilirlik ortalaması pozitifdir.
- V2: Olabilirlik ortalamasını ve standart sapmasını eniyileyen portföyler tektir.
- V3: Varlıkların olabilirlik standart sapması – olabilirlik ortalaması düzlemindeki koordinatları birbirlerinden farklıdır. Aksi halde ilgili varlıklar tek bir varlık olarak düşünülebilir.

V2 geçerli iken herhangi bir β değeri için (14)'ün optimal çözümü etkin portföy olarak adlandırılır. Etkin portföy, verilen olabilirlik standart sapması için olabilirlik ortalamasını maksimum yapan portföy olarak da tanımlanabilir. Bunlar birlikte olabilirlik standart sapması – olabilirlik ortalaması düzleminde etkin sınırı verir. Köşe Noktası Teoremine göre bunlarla ilgili aşağıdaki bilgiler geçerlidir.

- Verilen β değeri için tek bir varlığın faydası maksimum ise etkin portföy tektir. Bu portföyde yalnızca o varlık bulunur.
- Eğer iki veya daha fazla varlığın faydası maksimum ise bu varlıkların herhangi bir konveks kombinasyonu etkin portföydür.

Performans, birim olabirlik standart sapması başına olabirlik ortalaması olarak tanımlansın. Bunu maksimum yapan portföy aşağıdaki lineer kesirli programla problemi ile bulunur. Bu portföy, V1 geçerli iken tanım gereği etkin portföydür ve (olabirlik) piyasa portföyü olarak adlandırılabilir.

$$\sup \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n w_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n w_i \sigma_i} : \sum_{i=1}^n w_i = 1 \wedge w_i \geq 0, \forall i \right\}. \quad (16)$$

(16) lineer programlama problemine indirgenip Simpleks algoritma ile çözülebilir [19]. Ayrıca kuasikonveks problemdir ve bu nedenle bu problemin en az bir çözümü uygun çözüm kümesinin köşelerindedir [20]. Bununla birlikte aşağıdaki bilgilerin geçerli olduğu da gösterilebilir [21].

- Tek bir varlığın performansı maksimum ise piyasa portföyü tektir. Bu portföyde yalnızca o varlık bulunur.
- Eğer iki veya daha fazla varlığın performansı maksimum ise bu varlıkların herhangi bir konveks kombinasyonu piyasa portföydür.

Bazı özel durumlar için etkin portföyleri incelemek yararlı olabilir.

i. Varlık ağırlıkları için $m < n$ olmak üzere üst sınır getirilsin ve S aşağıdaki gibi olsun.

$$S = \left\{ w : \left(\sum_{i=1}^n w_i = 1 \right) \wedge \left(\frac{1}{m} \geq w_i \geq 0, \forall i \right) \right\}. \quad (17)$$

Bu durumda fayda (performans) sıralamasında m . ve $(m+1)$. olan varlıkların faydası (performansı) farklı ise etkin portföy (piyasa portföyü) tektir. Bu portföyde faydası (performansı) maksimum olan m adet varlık eşit ağırlıklı olarak bulunur.

ii. Portföyde risksiz varlık bulunabilsin ama kısa pozisyon bulunamasın. Buna göre S aşağıdaki gibidir. Burada risksiz varlığın ağırlığı ile riskli varlıkların ağırlıklarının toplamı 1'dir.

$$S = \left\{ w : \left(\sum_{i=1}^n w_i \leq 1 \right) \wedge (w_i \geq 0, \forall i) \right\}. \quad (18)$$

Bu durumda performansı maksimum yapan portföy, piyasa portföyü ile risksiz varlığın herhangi bir konveks fonksiyonudur. Sadece bu portföyler etkin portföylerdir ve birlikte etkin sınırı oluşturur. Buna göre Markovitz'in geleneksel OV modelinde olduğu gibi burada da Tek Fon Teoremi geçerlidir. V1 nedeniyle pozitif olan piyasa portföyünün performansı p ile gösterilsin. Faydayı maksimum yapan etkin portföy

aşağıdaki β^0 değerine kadar sadece risksiz varlık iken bu değerden sonra sadece piyasa portföyüdür. Bu β^0 değerinde ise bunların herhangi bir konveks kombinasyonudur. Başka bir deyişle bu β^0 için tüm etkin sınır faydayı maksimum yapar.

$$\beta^0 = \frac{1}{1+p}. \quad (19)$$

iii. Portföyde risksiz varlık bulunamasın ama kısa pozisyon bulunabilsin. Buna göre S aşağıdaki gibidir.

$$S = \left\{ w : \sum_{i=1}^n w_i = 1 \right\}. \quad (20)$$

Bu durumda olabilirlik OV modeli ya kısa pozisyon sınırı varmış gibi sonuç verir ya da sınırlı tek bir çözüm bulunamaz. Bu bilgi kısa pozisyon sınırı yokken modelin finansal olarak anlamlı olmaması ile uyumludur.

4. Olabilirlik ortalama – varyans modelinin etkin sınırı

Etkin portföyler, olabilirlik standart sapması – olabilirlik ortalaması düzleminde etkin sınırı verir. Bu bölümde kısa pozisyon sınırı varken, farklı etkin sınır yapıları örnekler ile açıklanmıştır.

(21) olabilirlik OV modelinin alternatif tanımıdır ve (14) ile özdeş etkin sınır verir. (14)'te fayda maksimizasyonu söz konusu iken burada olabilirlik standart sapmasının verilen üst sınırı için olabilirlik ortalaması maksimize edilir.

$$\begin{aligned} & \text{maks} \sum_{i=1}^n w_i \mu_i \\ & \text{s.t.} \sum_{i=1}^n w_i \sigma_i \leq \sigma_{üst} \\ & \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ & w_i \geq 0, \forall i. \end{aligned} \quad (21)$$

Simpleks algoritmadan bilindiği üzere optimal çözüm dejenere değilse veya alternatif optimal çözümler yoksa (21)'in optimal çözümünde tam olarak iki varlık bulunur. (14) ve (21) birlikte dikkate alındığında etkin sınır için aşağıdaki bilgiler verilebilir.

- V1 ve V2 geçerli olsun. Ayrıca olabilirlik ortalamasını ve standart sapmasını eniyileyen portföyler aynı olsun. Buna göre etkin sınır tek bir noktadan oluşur. Bu nokta tek bir varlıktan oluşan piyasa portföyüdür.
- Aksi halde bir veya daha fazla doğru parçasından oluşan konkav bir eğridir. V3 geçerli iken doğru parçalarının uç noktaları, birer varlığa karşı gelir. Bu noktalar

(21)'in dejenere çözümleridir. Uç olmayan noktalar ise doğru parçasının iki uç noktasının bir konveks kombinasyonu ile elde edilir.

- Eğer bir doğru parçası üzerinde üç veya daha fazla varlık varsa alternatif optimal çözümler vardır. Buna göre o doğru parçası üzerindeki uç olmayan herhangi bir nokta, bu varlıkların sonsuz farklı sayıda konveks kombinasyonu ile elde edilebilir.
- Tüm varlıklar ilgili düzlemde nokta şeklinde gösterilsin. Etkin sınır üzerinde olmayan noktalar etkin portföy değildir. Bunlar grafikte etkin sınırın altında ve sağında kalır. Bu varlıkları içeren herhangi bir portföy de etkin değildir. Rasyonel bir yatırımcının bu portföylere yatırım yapmaması beklenir.

(14)'te β belirli aralıklarda iken uç noktalar elde edilir. İki uç noktanın faydasının bir β^0 için eşit olduğu yerlerde ise aralık değişimleri gerçekleşir. İlgili doğru parçasının eğimi e iken β^0 aşağıdaki gibi bulunur. Etkin sınır konkav eğri olduğundan bunu oluşturan doğru parçalarının eğimleri gittikçe azalır. Bu nedenle β^0 değerleri de gittikçe artar.

$$\beta^0 = \frac{1}{1+e}. \quad (22)$$

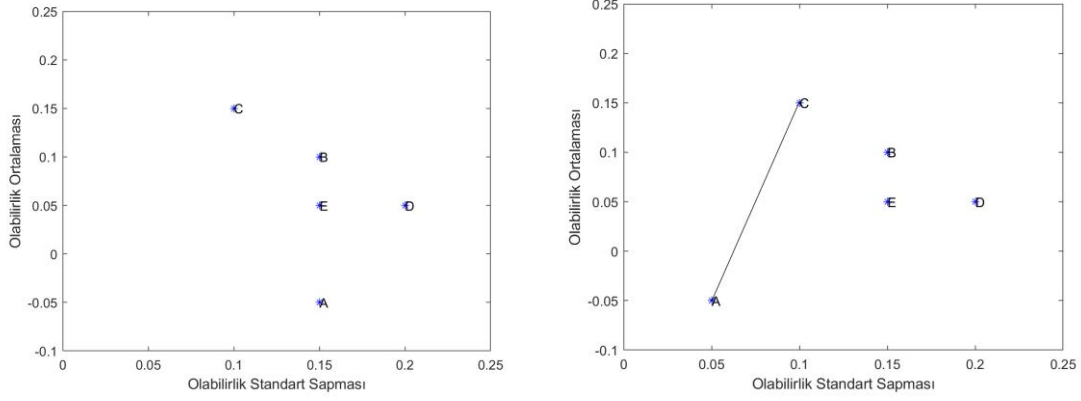
Uyarı: Portföyde risksiz varlık bulunabiliyorken (19)'daki p ile (22)'deki e özdeştir. Çünkü risksiz varlığın olabirlik ortalaması ve varyansı sıfırdır ve etkin sınır bu örnekte piyasa portföyü ile risksiz varlığı birleştiren doğru parçasıdır.

Örnek I ve II'de A, B, C, D ve E varlıkları için aşağıdaki bilgiler geçerli olsun. Örnek II'nin, Örnek I'den tek farkı A varlığının olabirlik standart sapmasıdır.

Tablo 1. Etkin sınır örnekleri için veriler I.

Varlıklar	Örnek I		Örnek II	
	O. Ortalaması	O. Standart S.	O. Ortalaması	O. Standart S.
A	-0.05	0.15	-0.05	0.05
B	0.10	0.15	0.10	0.15
C	0.15	0.10	0.15	0.10
D	0.05	0.20	0.05	0.20
E	0.05	0.15	0.05	0.15

Örnek I'de C varlığı olabirlik ortalamasını ve standart sapmasını eniyiler. Bu nedenle burada etkin sınır sadece C varlığından oluşur. Örnek II'de sadece A ve C varlıkları etkin portföylerdir. Bu nedenle etkin sınır, A ve C'nin konveks kombinasyonları ile oluşturulan ve eğimi 4 olan bir doğru parçasıdır. (22)'ye göre etkin portföyler; $\beta < 0.2$ iken sadece A varlığından, $\beta > 0.2$ iken sadece C varlığından oluşur. $\beta = 0.2$ ise tüm bir etkin sınır faydayı maksimum yapar. Başka bir deyişle (14)'ün alternatif optimal çözümleri vardır. Örnek I ve II'de C varlığı performansı maksimum yapar ve piyasa portföyüdür. Örnek I ve II için etkin sınırlar Şekil 2'de sırasıyla gösterilmiştir.



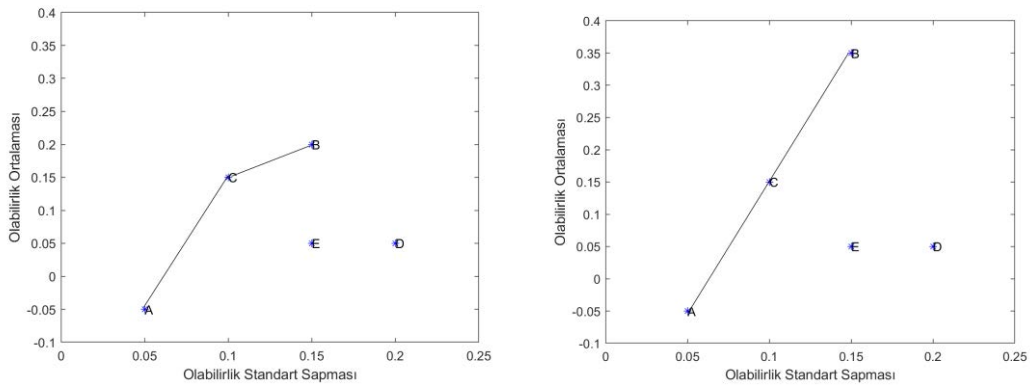
Şekil 2. Etkin sınırlar I.

Örnek III ve IV'te A, B, C, D ve E varlıkları için aşağıdaki bilgiler geçerli olsun. Örnek III ve IV'ün, Örnek II'den tek farkı B varlığının olabilirlik ortalamasıdır.

Tablo 2. Etkin sınır örnekleri için veriler II.

Varlıklar	Örnek III		Örnek IV	
	O. Ortalaması	O. Standart S.	O. Ortalaması	O. Standart S.
A	-0.05	0.05	-0.05	0.05
B	0.20	0.15	0.35	0.15
C	0.15	0.10	0.15	0.10
D	0.05	0.20	0.05	0.20
E	0.05	0.15	0.05	0.15

Örnek III'te A, B ve C varlıkları etkin portföylerdir. Buradaki etkin sınır, iki doğru parçasını uç uca ekleyerek oluşturulan konkav eğridir. Etkin portföyler; $\beta < 0.2$ iken sadece A varlığından, $0.2 < \beta < 0.5$ iken sadece C varlığından, $\beta > 0.5$ iken sadece B varlığından oluşur. $\beta = 0.2$ iken ($\beta = 0.5$ iken) A ve C'nin (C ve B'nin) herhangi bir konveks kombinasyonu faydayı maksimum yapar ve etkin portföydür. Burada piyasa portföyü yine C'dir. Örnek III ve IV için etkin sınırlar Şekil 3'te sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 3. Etkin sınırlar II.

Örnek IV'te etkin sınırı oluşturan iki doğru parçasının eğimi aynı olduğundan etkin sınır doğrusaldır ve piyasa portföyü sadece B varlığından oluşur. Etkin portföyler; $\beta < 0.2$ iken sadece A varlığından, $\beta > 0.2$ iken sadece B varlığından oluşur. $\beta = 0.2$ ise A, B ve

C'nin herhangi bir konveks kombinasyonu faydayı maksimum yapar ve etkin portföydür. Ayrıca (21)'de $0.05 < \sigma_{üst} < 0.15$ iken alternatif optimal çözümler vardır ve karşı gelen etkin portföyler A, B ve C'nin sonsuz farklı sayıda konveks kombinasyonu ile elde edilebilir. Örneğin, (0.10, 0.15) koordinatlarındaki bir etkin portföy C varlığı ve $(0.5A+0.5B)$ portföyünün herhangi bir konveks kombinasyonu ile oluşturulabilir.

5. Sonuç ve değerlendirme

Varlık getirilerinin olasılık dağılımlarını tam olarak belirlemek çoğu zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle yapılan normal dağılım veya eliptik dağılım varsayımları ise gerçek hayattaki durumla örtüşmeyebilir. Öte yandan bunların en kötü durumdaki, temel durumdaki ve en iyi durumdaki değerleri için öngörülebilir bulunmak nispeten daha kolaydır. Bu öngörüler doğrultusunda ise varlık getirilerinin olasılık dağılımları üçgensel bulanık sayılarla verilebilir. Bu çalışmada bu bilgiler doğrultusunda Olasılık OV modelinin matematiksel analizi yapılmıştır. Bu kapsamda faydayı ya da performansı maksimum yapan portföyler, analitik olarak elde edilmiştir. Ayrıca farklı etkin sınır yapıları örnekler ile açıklanmıştır. Elde edilen bu sonuçların, bu modelle yapılacak uygulamaları ve karar almayı kolaylaştırması beklenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Markowitz, H., Portfolio selection, **The Journal of Finance**, 7, 1, 77-91, (1952).
- [2] Goldfarb, D. ve Iyengar, G., Robust portfolio selection problems, **Mathematics of Operations Research**, 28, 1, 1-38, (2003).
- [3] Breuer, T., Providing against the worst: risk capital for worst case scenarios, **Managerial Finance**, 32, 9, 716-730, (2006).
- [4] Garlappi, L., Uppal, R. ve Wang, T., Portfolio selection with parameter and model uncertainty: A multi-prior approach, **The Review of Financial Studies**, 20, 1, 41-81, (2006).
- [5] Tütüncü, R. H. ve Koenig, M., Robust asset allocation, **Annals of Operations Research**, 132, 1-4, 157-187, (2004).
- [6] Huang, D., Zhu, S., Fabozzi, F. J. ve Fukushima, M., Portfolio selection under distributional uncertainty: a relative robust CVaR approach, **European Journal of Operational Research**, 203, 1, 185-194, (2010).
- [7] Bhattacharyya, R., Kar, S. ve Majumder, D. D., Fuzzy mean-variance-skewness portfolio selection models by interval analysis, **Computers & Mathematics with Applications**, 61, 1, 126-137, (2011).
- [8] Duran, A. ve Bommarito, M. J., A profitable trading and risk management strategy despite transaction costs, **Quantitative Finance**, 11, 6, 829-848, (2011).
- [9] Jorion, P., Bayes-Stein estimation for portfolio analysis, **The Journal of Financial and Quantitative Analysis**, 21, 3, 279-292, (1986).
- [10] Carlsson, C., Fullér, R. ve Majlender, P., A possibilistic approach to selecting portfolios with highest utility score, **Fuzzy Sets and Systems**, 131, 1, 13-21, (2002).
- [11] Taş, O., Kahraman, C. ve Güran, C. B., A Scenario Based Linear Fuzzy Approach in Portfolio Selection Problem: Application in the Istanbul Stock Exchange, **Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing**, 26, 3-5, 269-294, (2016).

- [12] Zhang, W. G., Zhang, X. L. ve Xiao, W. L., Portfolio selection under possibilistic mean–variance utility and a SMO algorithm, **European Journal of Operational Research**, 197, 2, 693-700, (2009).
- [13] Dubois, D., Possibility theory and statistical reasoning, **Computational Statistics & Data Analysis**, 51, 1, 47-69, (2006).
- [14] Klir, G. ve Yuan, B., **Fuzzy sets and fuzzy logic**, Prentice Hall, (1995).
- [15] Zimmermann, H. J., **Fuzzy set theory and its applications**, Springer, (2001).
- [16] Roman-Flores, H., Barros, L. C. ve Bassanezi, R. C., A note on Zadeh's extensions, **Fuzzy Sets and Systems**, 117, 3, 327-331, (2001).
- [17] Carlsson, C. ve Fuller, R., On possibilistic mean value and variance of fuzzy numbers, **Fuzzy Sets and Systems**, 122, 315-326, (2001).
- [18] Deb, K., **Multi-objective optimization using evolutionary algorithms**, John Wiley & Sons, (2001).
- [19] Bajalinov, E. B., **Linear-fractional programming theory, methods, applications and software**, Springer, (2013).
- [20] Bykadorov, I. A., **On quasiconvexity in fractional programming** in Komlosi, S., Rapcsak, T. ve Schaible, S., *Generalized Convexity*, Springer, (1994).
- [21] Biswas, A., Verma, S., ve Ojha, D. B., Optimality and Convexity Theorems for Linear Fractional Programming Problem, **International Journal of Computational and Applied Mathematics**, 12, 3, 911-916, (2017).

Çimento, kireç ve uçucu kül ile iyileştirilen kaolin bentonit karışımı zeminlerin mekanik özellikleri

Tuğba ESKİŞAR*

Ege Üniversitesi, Mühendisliği Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş Tarihi (Received Date): 08.03.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 10.07.2019

Öz

Bu çalışmada çimento, kireç ve uçucu kül ile yapılan iyileştirmenin kil zeminlerin mukavemet ve deformasyon özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kaolin-bentonit karışımı bir zemine çimento, kireç ve bu bağlayıcılara puzolan olarak uçucu kül katılarak hazırlanan numuneler farklı kür sürelerinde bekletildikten sonra serbest basınç deneyi ile dayanımları tespit edilmiş, katkı maddelerinin ve kür sürelerinin mekanik davranışa olan etkisi araştırılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında Harvard minyatür kompaktörü kullanılmıştır. Katkı içermeyen zemine göre katkı maddeleri ile iyileştirilmiş zeminlerin çok daha gevrek bir davranış sergilediği ve göçme anındaki deformasyonlarının küçüldüğü gözlenmiştir. Kür süresinin artması da deformasyon seviyesinin azalmasına sebep olmuştur. %6 kireç-%3 uçucu kül içeren numuneler en yüksek mukavemeti vermiştir. Katkısız örneklere göre dayanım 180 gün sonunda 6.6 kat artmıştır. Kireç-uçucu kül katkısının çimentonun yerini alabilecek yüksek mukavemet ve daha düşük maliyetle bir alternatif oluşturabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kaolin, bentonit, serbest basınç mukavemeti.

Mechanical properties of kaolin-bentonite mixture soils treated with cement, lime and fly ash

Abstract

The present study examines the strength and deformation properties of clay soils stabilized with cement, fly ash and lime. For this reason, clay soil that consisted of kaolin and bentonite was constituted and this soil was admixed with cement and lime. Also, fly ash was used as a pozzolan with these additives. Different curing periods were

* Tuğba ESKİŞAR, tugba.eskisar@ege.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-0269-2149>

applied and unconfined compressive testing was performed to investigate the effects of additives and curing times on the mechanical behavior of clay soils. Harvard miniature compactor was used to prepare the specimens. The treated specimens showed a brittle behavior compared to the untreated soil specimens and the deformations were much smaller. Deformations were also decreased due to the increment of curing times. Highest unconfined compressive strength was achieved in specimens with 6% lime-3% fly ash combination. The compressive strength of treated specimens were 6.6 times greater than the compressive strength of untreated specimens at the end of 180 days. Therefore, lime-fly ash additive was able to replace cement additive for stabilization of specimens from the point of mechanical and economical view.

Keywords: Kaolin, bentonite, unconfined compressive strength.

1. Giriş

İnce daneli zeminlerin uygun katkıları ile stabilizasyonu yol inşaatı, dolgu yapımı, sıg temel tabakası iyileştirmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu zeminlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve performansını artırmak stabilizasyonun uzun dönemdeki başarısına bağlı olmaktadır. Çimento ve kireç gibi katkıları sıklıkla tercih edilmektedir. Hidratasyon bileşenleri ve kil minerallerinin varlığı zemin yapısında güçlü bağların kurulmasına olanak sağlamaktadır [1]. Şişebilen özellikte veya marjinal zeminlerin de stabilizasyonunda çimento ve kireç kullanımı ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir [2-5]. Atık bir malzeme olan uçucu kül ise çimento veya kireç ile birlikte kullanıldığında dayanımı olumlu yönde geliştirmektedir. Aynı zamanda maliyetleri düşüren daha ekonomik çözümler üretilmesine katkıda bulunmaktadır. Zemin özellikleri bölgeden bölgeye değişiklik gösterdiği için sahaya özgü stabilizasyon uygulamaları yapılmalı, deneylerle geoteknik özelliklerin değişimi incelenmeli, daha sonra uygulanacak metodun etkinliği ve başarısı sahada takip edilmelidir.

Çimento ile stabilize edilen zeminin özelliklerinin gelişmesi, zemin çimento matrisinde birincil ve ikincil çimentolanmış partiküller oluşturan kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Birincil çimentolanmış partiküller hidrasyon reaksiyonu ile meydana gelir ve hidratlanmış kalsiyum silikatlar, kalsiyum alüminatlar ve hidratlanmış kireçten oluşur. Hidratlanmış kireç ile kil minerallerinden silika ve alümina arasındaki ikincil bir puzolanik reaksiyon, ilave kalsiyum silikat hidratlarının ve kalsiyum alüminat hidratlarının oluşumuna yol açar. Bu zemin çimento etkileşimi stabilizasyon sonucu dayanımdaki gelişmeyi açıklamak için net bir temel sağlar [6].

Kireç ile yapılan stabilizasyonda ise kil partikülleri yüzeyindeki metal iyonları ile kireç içindeki kalsiyum iyonları arasında katyon değişimleri gerçekleşir. Katyon değişimine ek olarak kil minerali kafeslerindeki silika ve alümina arasında da reaksiyonlar meydana gelerek sulu çimentolanmış ürünler ortaya çıkar ve kilin flokülasyonunda artış gerçekleşir. Yüksek derecede alkali olan bu ortamda esas olarak kalsiyum silikatlar ortaya çıkar. Böylesi bir durumda, stabilizasyonun başarısı ortamda kullanılan kireç ile zeminin kil minerali içeriğine bağlıdır [7].

Uçucu kül, termik santrallerinin bir yan ürünüdür ve silisyum dioksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve kalsiyum oksit (CaO) gibi farklı mineral bileşikler içerir. Stabilizasyonda kullanılan çimento miktarını azaltarak bunun yerine uçucu kül

kullanmak karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Özellikle, uçucu kül gibi atık yan ürünlerin puzolanik etkisinin çevre dostu ve sürdürülebilir çözümlere olanak sağlayacağı düşünülmektedir [1]. Uçucu küller genel olarak F sınıfı veya C sınıfı olarak ayrılır. F sınıfı uçucu külün C sınıfına göre kalsiyum oksit miktarı biraz daha düşük olup bu durum sadece puzolanik reaksiyonların ortaya çıkmasına neden olur. Bu nedenle çimento veya kireç ile birlikte kullanılmaktadır [8].

Keshawarz ve Dutta [9], % 20 F sınıfı uçucu kül, % 6 kireç ve %10 Portland çimentosu içeren 3 grup zemin örneği üzerinde çalışmıştır. Zeminlerin plastisitesini azaltmada bu üç katkı da başarılı bulunmuştur. Serbest basınç mukavemetleri tüm örneklerde artmış ve mukavemet yüksekten düşüğe doğru sırasıyla, çimento, kireç ve uçucu kül içeren gruplarda gözlenmiştir. Bell [7], killi zeminlere kuru ağırlıkça % 1-3 oranında kireç katılmasının mühendislik özelliklerini geliştirdiğini, ancak bu miktarın üzerinde kireç eklendiğinde kıvam limitlerinin değişmeyip sadece mukavemetin arttığını belirtmiştir. Erdal [10], C sınıfı uçucu kül, kireç ve çimentonun şişebilen zeminler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu zeminlere,% 20 uçucu kül katılması ile gözlenen şişme potansiyeli ile % 8'lik bir kireç ilavesiyle elde edilen şişme potansiyeli ile neredeyse aynı olduğunu göstermiştir. % 20 ila % 25 uçucu kül ilavesiyle, şişme potansiyelinde sadece hafif bir düşüş gözlenmiş, bu da optimum uçucu kül içeriğinin % 20 civarında olduğu şeklinde bulunmuştur. Cömert [11], araştırmasında yüksek kaolin içerikli kil bir zemin kullanmıştır. Bu kil içerisine % 5 kireç ve değişik oranlarda uçucu kül katmış ve bu karışımlara değişik sürelerde kür uygulamıştır. Karışımların 28 günlük kür sonucunda kıvam limitlerine göre katkı oranları arttıkça plastisite indislerinin azaldığını gözlemlemiştir. Uçucu külün kaolin içeriği fazla zeminlerin stabilizasyonunda kullanılabileceği sonucuna varmıştır. Sariosseri ve Muhunthan [12] çimento katkılı farklı türde zeminler ile yaptıkları çalışma neticesinde işlenebilirlikte, serbest basınç mukavemetinde ve kayma mukavemetinde gelişim görmüşlerdir. İyileşmenin zeminin türü ile yakından ilgili olduğunu söylemişlerdir. Drenajsız üç eksenli deneylerde kayma mukavemeti gelişimi ile birlikte meydana gelen kırılma türlerinin de çimento içeriğiyle değişim gösterdiğini bulmuşlardır. Khemissa ve Mahamedi [5] aşırı konsolide şişebilen bir kil zeminde çimento ve kireç ile stabilizasyon yaparak, kompaksiyon, CBR ve drenajsız direkt kesme deneyleri yapmışlardır. Doğal kilin taşıma gücünün %8 çimento ve %4 kireç katkısıyla sağlandığını raporlamışlardır. Ünver [13], yaptığı çalışmada dispersif ve şişme özelliklerine sahip düşük plastisiteli kil zemine kuru ağırlığının farklı oranlarında Çatalağzı ve Soma uçucu külü ilave edilerek geoteknik özelliklerindeki değişimi incelemiştir. Katkı ilave edilen numunelerde katkı oranının artmasıyla beraber şişme yüzdesinde belirgin bir şekilde azalmanın ortaya çıktığını gözlemlemiştir. Sonuçta iki katkı maddesi de şişme yüzdesi değerlerini azaltmıştır. Soma uçucu külünün Çatalağzı uçucu külüne oranla zeminin şişme ve dayanım özelliğine daha olumlu yönde etki yaptığı belirlenmiştir. Farklı katkı seviyelerinde serbest basınç deney sonuçları incelendiğinde; artan katkı oranıyla birlikte dayanımın arttığı; Soma uçucu külü için artan katkı oranlarında %20 katkı oranından sonra Çatalağzı uçucu külünde ise genel olarak dayanımda artış gözlemleyememiştir. Baldovino vd. [14], killi zeminlere değişen oranlarda kireç katkısının kür sürelerine bağlı olarak değişimini araştırmışlardır. Yarmada çekme ve serbest basınç deneylerinden mukavemetlerin oranlarını hesaplamışlar ve bu değerler kür süresine bağlı olarak 0.17 - 0.2 arasında değiştiğini, kireçle stabilize edilen zeminlerin kireç eklenmemiş zeminlerin 4 katı serbest basınç mukavemetine ulaştığını belirtmişlerdir. Sharma vd. [15] killi bir dağ zeminini kireç ve çimento ile stabilize etmişlerdir. Çimento katılmasının kireç stabilizasyonuna göre zeminin mekanik davranışı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu ifade

etmişlerdir. 28 günlük örneklerin basınç mukavemetleri işlem görmemiş zeminlerin 6 katına ulaşmıştır. Kür süresinin çok önemli bir faktör olduğunu vurgulamışlardır. %5 çimento veya kireç ilavesinin yeterli mukavemete ulaşmayı sağladığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada kil zemine çimento, sönmemiş kireç ve bu malzemelerle birlikte F sınıfı uçucu külün belirli oranlarda katılması sonucu bir iyileştirme çalışması yapıldığında, zemin karışımlarının mukavemet gelişimleri, gerilme ve deformasyon davranışları katkı türü ve katkı miktarına göre planlanan deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Bu amaçla her örnek grubundan en az 3 adet olmak üzere, sonuçların kontrolünü de içeren ek örneklerle birlikte 201 adet örnek, 12 farklı karışım oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Karışımlarda dikkate alınan bir diğer değişken de kür süreleri olmuştur. Örnekler 14, 28, 90, 150 ve 180 gün kür sürelerinde bekletildikten sonra serbest basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Zemin özelliklerindeki gelişmeler, katkı türü ve miktarına bağlı olarak detaylı bir şekilde tartışılmış ve bulgular literatür ile karşılaştırılarak sunulmuştur.

2. Malzeme ve yöntem

2.1. Malzeme

Kaolin ve bentonit %70-%30 oranında karıştırılarak elde edilen ince daneli zemin kullanılmıştır. ASTM D4318 [16] standardına uygun olarak Casagrande yöntemi ile likit limit ve plastik limit belirlenmiştir. Likit limiti (LL) 80 ve plastik limiti (PL) 35 bulunan %70 kaolin-%30 bentonit karışımı kil örneğinin plastisite indisi: $PI=80-35=45(\%)$ olarak hesaplanmıştır. %70 kaolin-%30 bentonit karışımı örneğin zemin sembolünün tespiti ASTM D2487 [17]'ye uygun olarak yapılmış olup yüksek plastisiteli kili tarif eden CH olduğu tespit edilmiştir. Özgül ağırlık deneyi ise ASTM D854 [18] standardına göre yapılmıştır. Zeminin özgül ağırlığı 2.6'dır.

Kullanılan çimentonun tipi CEM I 42.5 R olup Bolu'da üretilmiştir. Çimentonun kimyasal bileşenleri, %62.65 CaO, %19.54 SiO₂, %4.80 Al₂O₃, %5.71 Fe₂O₃, %1.89 MgO, %3.12 SO₃, %0.37 Na₂O, %0.40 K₂O ve diğer minör bileşenler şeklindedir. Yoğunluğu 30.7 kN/m³'tür.

F sınıfı uçucu kül, Çayırhan Termik Santrali'nden temin edilmiş olup dayanım aktivite indeksi 7. günde %78, 28. günde ise %84 olarak belirlenmiştir. Kimyasal bileşenleri, %15.94 CaO, %47.07 SiO₂, %11.56 Al₂O₃, %7.22 Fe₂O₃, %7.77 MgO, %2.78 SO₃, %1.59 Na₂O, %3.04 K₂O ve diğer minör bileşenler şeklindedir. Yoğunluğu 25.0 kN/m³'tür.

Kireç sönmemiş formda olup Tokat'ın Niksar yöresinden elde edilmiştir. %90'ı CaO olup yoğunluğu 30.9 kN/m³'tür.

2.2. Yöntem

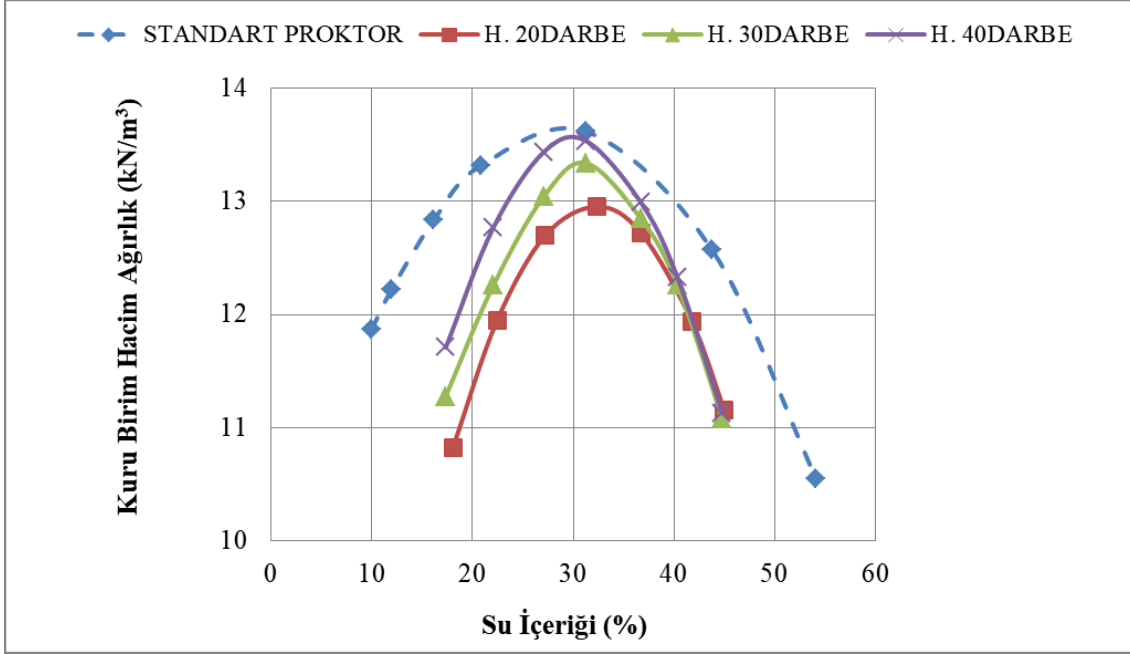
Bentonit havadaki nem sebebiyle su içeriği artışı gösterebileceği için önlem olarak hem kaolin hem de bentonit kullanılmadan önce 24 saat etüvde bekletilmiştir. Kaolin ve bentonit karışımı bu kuru karışımların ağırlıkça oranları ile hazırlanmıştır. Bu çalışmada serbest basınç deneyinde kullanılmak üzere çapı 50 mm yüksekliği 100 mm olan silindirik örneklerden farklı içeriklere sahip olacak şekilde ve her örnek grubundan en az 3 adet içerecek şekilde 201 adet hazırlanmıştır. Çalışmaya ait deney programı ve hazırlanan örnek gruplarına ait örnek adetleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada C

çimento, L kireç, FA uçucu kül, için kullanılan kodlama olup, bu harflerin yanındaki sayılar o katkının kuru ağırlıkça eklenen yüzdesini ifade etmektedir. D ise kür süresini gün cinsinden ifade eder.

Tablo 1. Çalışmaya ait deney programı.

Örnek Adı	Grup No.	L	C	FA	Kür süresi, D'ye (gün) göre örnek adetleri					Grup toplamı	
		%	%	%	0	14	28	90	150		180
Zemin	Kontrol Grubu	-	-	-	3	-	-	-	-	-	3
C3	1	-	3	-	-	3	4	4	3	3	17
C6	2	-	6	-	-	3	4	3	3	3	16
C9	3	-	9	-	-	3	4	3	3	3	16
C3FA3	4	-	3	3	-	3	4	4	3	3	17
C3FA6	5	-	3	6	-	3	4	4	3	3	17
C6FA3	6	-	6	3	-	3	4	3	3	3	16
L3	7	3	-	-	-	3	4	4	3	3	17
L6	8	6	-	-	-	3	4	3	3	3	16
L9	9	9	-	-	-	3	4	3	3	3	16
L3FA3	10	3	-	3	-	3	4	4	3	3	17
L3FA6	11	3	-	6	-	3	4	4	3	3	17
L6FA3	12	6	-	3	-	3	4	3	3	3	16
Genel Toplam											201

Öncelikle standart Proktor kompaksiyon deneyi (ASTM D698 [19]) ile maksimum kuru birim hacim ağırlık – optimum su içeriği belirlenmiştir. Bu eğri incelendiğinde maksimum kuru birim hacim ağırlığın 13.63 kN/m^3 , optimum su içeriğinin de %30 olduğu görülmektedir (Şekil 1). CH türü zeminlerde kompaksiyon düşünüldüğünde sahada ilk seçenek keçi ayaklı silindir olmaktadır. Bu düşünceden hareketle çalışmada, keçi ayaklı silindirin yoğurma hareketini en iyi betimleyen Harvard kompaktörü ile çalışılmıştır [20]. Kompaksiyon enerjisi, sıkıştırılan zeminin mekanik özelliklerini etkileyen etmenlerden birisidir ancak Harvard metodu ile sıkıştırma yapıldığında direkt olarak hesaplanması mümkün değildir. Bu sebeple öncelikle standart Proktor deneyi yapılarak referans bir kompaksiyon eğrisi elde edilir. Daha sonra deneme-yanılma metodu ile farklı darbe ve tabaka sayılarında deney Harvard kompaktörü ile tekrarlanır ve standart Proktor deneyi ile ulaşılan maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasına mümkün olduğunca yaklaşılmaya gayret edilir [21]. Bu çalışmada 5 tabakada 20 darbe, 30 darbe ve 40 darbe ile sıkıştırılan silindirik numunelerinin kuru birim hacim ağırlık-su içeriği grafikleri çizilmiştir. Şekil 1’de referans eğriye en yakın kompaksiyon eğrisinin 40 darbe ile elde edildiği görülmektedir. Bu sebeple örneklerin hazırlanmasında her tabakada 40 darbe uygulanmıştır.



Şekil 1. Harvard kompaksiyon eğrilerinin referans eğri ile karşılaştırılması (H.: Harvard kompaksiyon deneyi).

Kaolin ve bentonit karışımı zemine kuru ağırlıkça %3, 6 ve 9 oranlarında çimento ve kireç, uçucu kül içeren örneklerde ise toplam yüzdenin %9'u geçmeyecek şekilde çimento veya kireç malzemelerine ek olarak yine kuru ağırlıkça %3 veya %6 oranlarında F sınıfı uçucu kül kullanılarak stabilize edilmiştir.

Örnekler 50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde silindir şeklinde hazırlanmıştır, sıkıştırma sırasında optimum su içeriklerinde çalışılmıştır. Kür süresini tamamlayan örnekler, ASTM D2166 [22] standardına uygun olacak şekilde serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur.

3. Deney sonuçları ve tartışma

Bu bölümde, örneklerin gerilme-şekil değiştirme davranışları, kür süresi, katkı türü, katkı miktarı değişimlerine bağlı olarak saptanan bulgular ele alınacaktır. Bulgular çalışma programında belirtildiği üzere (Tablo 1) 3 veya 4 adet örneğin ortalama dayanımları bulunarak örnek gruplarını temsil eden serbest basınç mukavemeti (SBM) dikkate alınarak sunulmuştur. Bir örnek grubunun serbest basınç mukavemeti hesaplanırken, ortalama mutlak hata yüzdesi kontrolü yapılmış, %10'dan fazla hata veren örnekler çalışmanın dışında bırakılmıştır. Bu sebeple 201 örneğin verisi ile çalışılmıştır. Tablo 2'de her bir örnek grubuna ait ortalama serbest basınç mukavemeti değerleri sunulmaktadır.

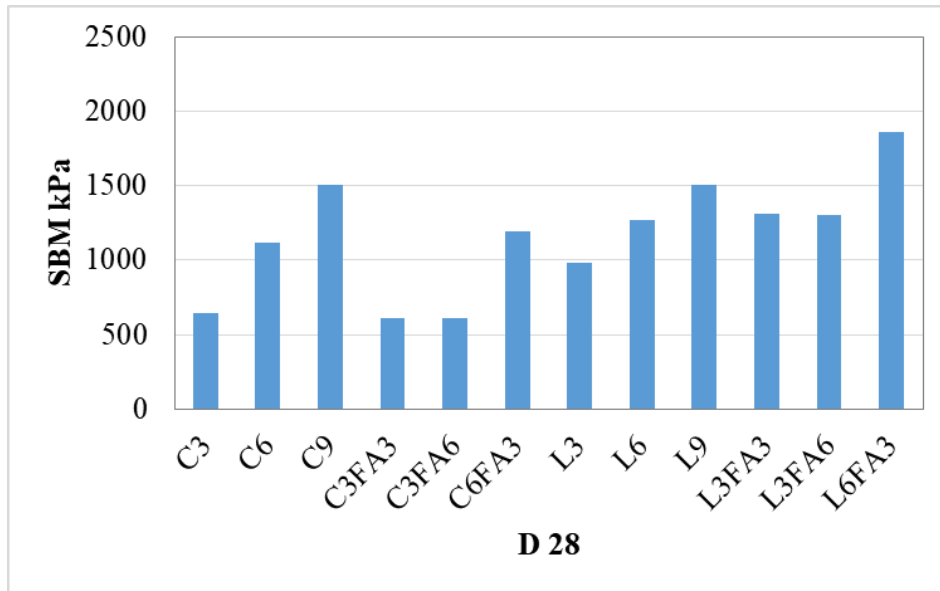
Tablo 2. Örnek gruplarının kür süresine göre sıralanmış serbest basınç mukavemetleri.

	Örnek Grubu	D (Gün)					
		0	14	28	90	150	180
SBM (kPa)	Zemin	376	-	-	-	-	-
	C3	-	527	645	662	669	877
	C6	-	668	1118	1164	1406	1479
	C9	-	1484	1505	1670	2074	2192
	C3FA3	-	550	608	661	732	937
	C3FA6	-	588	610	861	874	911
	C6FA3	-	1086	1192	1270	1308	1558
	L3	-	822	983	1049	1285	1292
	L6	-	1096	1271	1350	1438	1491
	L9	-	1215	1504	1651	1691	2017
	L3FA3	-	1067	1305	1410	1632	1849
	L3FA6	-	1266	1305	1359	1486	1884
	L6FA3	-	1581	1858	1988	2252	2492

3.1. Katkı Miktarının Etkisi

Şekil 2, 28 gün sonunda serbest basınç deneyinde ölçülen serbest basınç mukavemetini (kısaca SBM olarak adlandırılmıştır) göstermektedir. Katkısız zemin örneklerinin ortalama dayanımı 376 kPa'dır. Çimento katkılı zeminlerde katkı miktarının artması ile SBM artmıştır. %9 çimento (C9) içeren örneklerin SBM en yüksektir. %3 çimento (C3) ile hazırlanan örneklerin yaklaşık 2.3 katına ulaşmıştır. Uddin vd. [23] CH türü kilde yaptıkları bir incelemede %5 ve %10 çimento katkılı örnekler hazırlamışlardır. %5 çimento ilavesinin yeterli olmadığını, yüksek dayanım için %10 çimento ilavesinin gerekli olduğunu yazmışlardır. LL=103 ve PL= 43 olan kilde 28 gün sonunda 300kPa dayanım elde edilmiştir. Bu çalışmayla karşılaştırıldığında daha düşük dayanımların görülme sebebi likit ve plastik limit değerlerinin yüksek olmasından ileri gelmiştir. Zentar vd. [24] ise LL=76 ve PL=35 olan denizel bir kile %3, 6, 9 oranlarında çimento ve toplam %9'u geçmeyecek şekilde çimentoya ilave %3 ve %6 siliko alüminalı uçucu kül katmıştır. Örneklerin optimum su içeriği %20'dir ve 90 gün sonunda 3600 kPa dayanım bulmuşlardır. Zentar vd.'nin [24] çalışmasında optimum su içeriğinin daha düşük olduğu görülmektedir ve daha yüksek performans gösteren bir uçucu kül ile çalışmışlardır. Bu çalışmada ise yüksek kireçli kalsiyumlu uçucu kül kullanılmıştır ve optimum su içeriği daha yüksektir. Dolayısıyla, 90 gün sonunda 1670 kPa dayanım elde edilmiştir. Pakbaz ve Alipour [25], %30 su içeriğindeki CL türü bir zemine %4, 6, 8, 10 oranlarında çimento eklediklerinde en yüksek dayanımı sırası ile %10 ve %8 çimento içeren örneklerde bulmuşlardır. 28 gün sonunda 3000 kPa'ya yaklaşan dayanımlar elde etmişlerdir. Bu çalışma ile Pakbaz ve Alipour'un [25] çalışmasının karşılaştırması yapıldığında aynı su içeriklerinde olsa dahi kil zeminin plastisitesinin serbest basıncı değiştiren önemli bir faktör olduğu, plastisitenin azalması ile serbest basınç mukavemetinin artabileceği ortaya çıkmaktadır. Kireç katkılı zeminlerde %3'lük (L3) bir ilave, %3 çimento (C3) ile sağlanan artıştan daha büyük olmuştur. Consoli vd.'de [26] kil zeminlerde en az %3 kireç kullanılmasının gerekli olduğunu ve kireç miktarı arttıkça dayanımların da artacağını raporlamıştır. Kireç ile stabilize edilen örneklerde katkı miktarı arttıkça ortaya çıkan mukavemet artışı farkı daha küçük

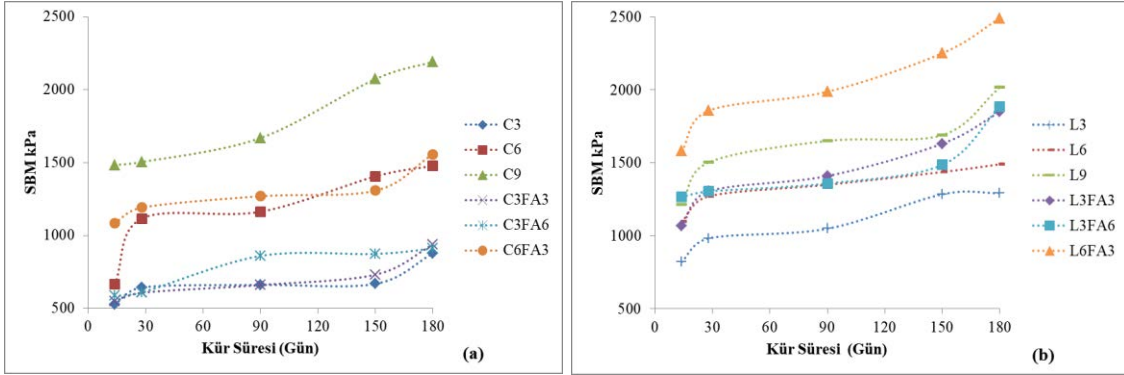
olmakla beraber, %9 kireç katkısı (L9) ile %9 çimento (C9) katkılı zeminlerin SBM'si arasında yakın değerler elde edilmiştir. Bu bulgu ile tutarlı olarak, Yunus vd. [27], %3, %6, %9 kireç ekledikleri denizel kilde %9 kireç katkılı örneklerin en yüksek dayanımı verdiğini bulmuşlar ve kür süresini uzatmanın kireç katkılı zeminlerin dayanımını arttırmaya yardımcı olacağını öngörmüşlerdir. Uçucu kül ile çimento veya kireç kullanıldığında ise C3FA3 ve C3FA6 örnekleri C3 örneklerine yakın SBM vermiştir. Bu durumda uçucu külün önemli bir etkisi görülebilmiştir. Bu da ortamda çimentonun bulunması ile meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu mikroyapı değişirken uçucu külün kullanılmasına olanak sağlayacak reaksiyonların oluşmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Benzer şekilde, Zentar vd. [24] %3 çimento-%3 uçucu kül, %3 çimento-%6 uçucu kül, %6 çimento-%3 uçucu kül katkılı kil örneklerin mukavemetini sadece %3 ve %6 çimento katkılı örneklerle kıyasladıklarında 28 gün sonunda dayanımların azaldığını ve uçucu kül zemini zayıf hale getirdiğini belirtmişlerdir. Tablo 2 incelendiğinde bu çalışmada da C3FA3 ve C3FA6 örneklerinde 28 günde dayanım C3 örneklerinin ortalama dayanımının altında kalmıştır. L3FA3 ve L3FA6 örnekleri de L6 örneklerine yakın mukavemet seviyelerine ulaşmıştır. Bu durumda çimento yerine kirecin tercih edilmesi uçucu külün etkinliğini az miktarda artırmaktadır. Wang vd. [28] F sınıfı uçucu kül-çimento ve F sınıfı uçucu kül-kireç katkılı örneklerinin dayanımlarını incelediğinde kireç ve uçucu kül içeren örneklerin dayanımının daha yüksek olduğunu bulmuştur. Bu durum uçucu kül ile çimento/kireç arasında farklı kimyasal reaksiyonların oluşmasından ileri gelmektedir. Uçucu külün puzolanik aktivitesi kireç ve su bulunduğunda etkin olmakta ve bağlayıcı jel oluşumunu sağlamaktadır. Bu da dayanımı arttırmaktadır. Uygulamada daha az kireç ve atık bir madde olan uçucu kül kullanılarak belirli dayanım seviyelerine ulaşmanın mümkün olduğu gözlenmiştir. Öyleki, en yüksek SBM, L6FA3 örneklerinde elde edilmiş ve sadece kireç kullanılan L9 örneklerini geçmiştir.



Şekil 2. 28 günlük (D 28) çimento (C), kireç (L), çimento-uçucu kül (C-FA), kireç-uçucu kül (L-FA) katkılı örneklerin serbest basınç mukavemetleri (SBM) (İndislerin yanındaki rakamlar kuru ağırlıkça yüzde cinsinden kullanılan katkı miktarını göstermektedir).

3.2. Kür süresinin etkisi

Zemin stabilizasyonu yapılan örneklerin farklı kür sürelerinde dayanımının nasıl değiştiğinin bilinmesi, uygulama tamamlandıktan ne kadar sonra projede beklenen dayanımlara ulaşılabileceğinin bilinmesi açısından önem taşır. Ayrıca yapının servis ömrü de dikkate alındığında uzun dönem dayanımların değeri bilinmelidir. Literatürün genel olarak 90 güne kadar olan kür sürelerinde gözlenen SBM ile sınırlı kaldığı görülmektedir [1, 5, 14, 29-31]. Bu çalışmada ise uzun dönem olarak 150 ve 180 güne kadar olan SBM'ler de incelenmiştir.



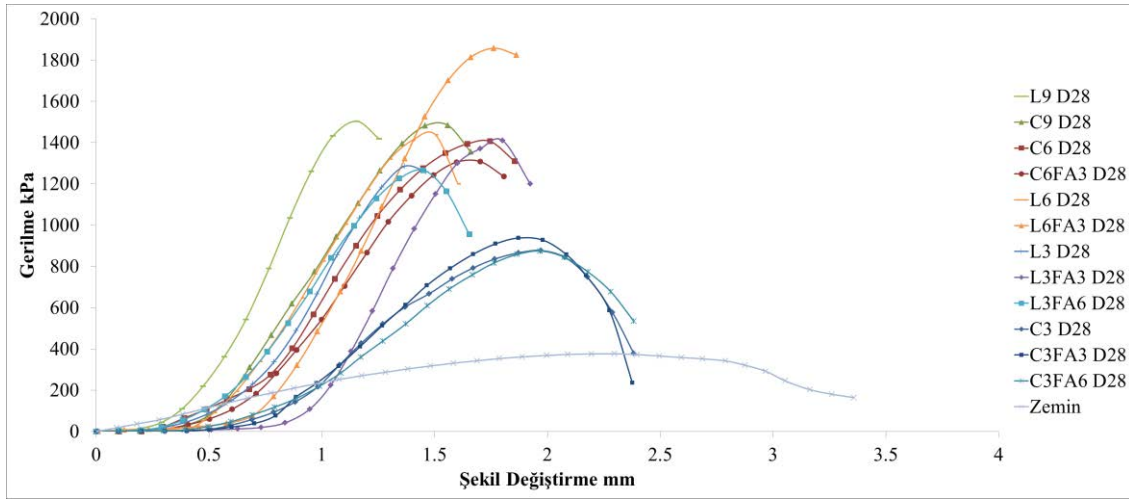
Şekil 3. 14, 28, 90, 150 ve 180 gün sonunda (a) çimento (b) kireç katkılı örneklerin serbest basınç mukavemetleri.

Şekil 3 incelendiğinde C6, C6FA3 ve C9 örneklerinin 180 günde SBM başlangıç değerlerinin oldukça üzerinde olduğunu, ancak C6 ile C6FA3 kıyaslandığında SBM değerlerinin 14 gün haricinde yakın olduğu gözlenmiştir. Bu da çimento katkılı durumda uçucu kül etkinliğinin fazla olmadığı kanısını oluşturmaktadır. En yüksek uçucu kül yüzdesine sahip C3FA6 örnekleri de bu bulguyu destekler niteliktedir. Lilley de [32] kohezyonlu zeminlere uçucu kül eklenmesinin faydalı olmadığını söylemiştir. Sasanian ve Newson [33] çimento katkılı örneklerin dayanımının çok uzun süre artmaya devam ettiğini tespit etmiştir. Bu durum kil mineralleri ile çimentolanma ürünleri arasında devam eden yavaş puzolanik reaksiyonlar sebebiyle olmaktadır. Kireç katkılı örneklerde ise L3FA3 ve L3FA6 örneklerinin kür süresi boyunca SBM değerleri L6 ve L9 örneklerinin arasında kalmıştır. Kireç ile uçucu kül birlikte daha etkin bir mekanizma oluşturmuştur. Uçucu kül içeren örnekler 180 gün sonunda yakın mukavemet değerlerine ulaşmaktadır. Ancak, literatürde raporlanan 90 güne kadar yapılan mukavemet ölçümlerinin özellikle kil minerallerince baskın olan ortamlarda mukavemet değerlerinin sabit bir doygunluğa ulaşması için yeterli olmadığını göstermektedir. Örneğin C9 örneklerinde SBM 90 günden 180 güne %25 artmıştır. Kalantari ve Prasad [34] turba zeminler üzerinde yaptıkları çimento katkılı çalışmalarında hava kurusu, standart kütleme ve sürşarj yük altında standart kütleme tekniklerinin hepsinde örneklerin SBM değerlerinin 90 günden 180 güne doğru artış gösterdiğini bulmuşlardır. Zhao vd. [35] 90 günden itibaren halen hidratasyon ürünlerinin oluşumunun devam ettiğini, Taylor [36] ise 180 günden sonra olgunlaşmış hidratasyon ürünlerinin gözlemlendiğini belirterek bu durumu hidratasyonun geç evresi olarak tanımlamaktadır.

3.3. Katkı türünün etkisi

Kireç ile stabilize edilmiş zeminlerin çimento ile stabilize edilmiş zeminlere göre en yüksek dayanıma karşılık gelen birim şekil değiştirme miktarları daha az olmuştur

(Şekil 4). L9 örnekleri en yüksek dayanımda % 1.15 birim şekil değiştirme göstermiştir. Oysa, katkısız zeminin birim şekil değiştirme miktarı % 2.3'tür. Kireç veya çimento oranının en yüksek olduğu % 9 katkı içeren zeminler (C9 ve L9) oldukça gevrek bir davranış göstermektedir (Şekil 5). Sariosseiri ve Muhunthan [37] da katkısız zeminlere kıyasla çimento katkılı zeminlerin çok daha gevrek bir davranış gösterdiğini belirtmiştir. Kireç ile birlikte uçucu kül kullanıldığında dayanım artışı ile birlikte gerilme-şekil değiştirme eğrileri de daha sünek bir hal almaktadır. Katkılı örnek grupları içinde en sünek eğriler C3 ile C3FA3, C3FA6 örneklerinde gözlenmiştir. Bu grupların birim şekil değiştirme miktarları sırası ile %1.97, %1.87, %1.97 kadardır. Tüm örnekler birlikte değerlendirildiğinde kireç ile uçucu külün birlikte kullanılması hem gerilme-şekil değiştirme eğrisinin elastik bölgesindeki (başlangıçtaki lineer artış gösteren bölge) pekleşme miktarını artırmakta hem de daha yüksek gerilmeler altında daha büyük şekil değiştirmelere ulaşmasına olanak sağlamaktadır. L3, L6, örneklerinin pik mukavemete karşılık gelen birim şekil değiştirme miktarları ile %3 uçucu kül eklenmiş halleri (L3FA3 ve L6 FA3) karşılaştırılırsa sünekliliğin artışı görülmektedir. Bu değerler sırası ile L3 ve L3FA3 için, % 1.37 ve %1.80; L6 ve L6FA3 için % 1.50 ve %1.76 kadardır.



Şekil 4. Farklı katkılarla stabilize edilmiş zemin örneklerinin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



Şekil 5. %9 katkı içeren örneklerde gelişen kırılma yüzeyleri (Soldan sağa sırası ile C9 ve L9 örnekleri).

4. Genel sonuçlar

Çimento, kireç veya bu malzemelere ilave olarak uçucu kül ile stabilize edilen kaolin-bentonit karışımı örneklerin zamana bağlı serbest basınç mukavemeti (SBM) gelişimleri incelenmiştir. Bu amaçla zemine kuru ağırlıkça % 3, 6 ve 9 oranlarında çimento ve kireç, bu katkılara ek olarak yine kuru ağırlıkça % 3 veya % 6 oranlarında F sınıfı uçucu kül katılarak silindirik zemin örnekleri hazırlanmıştır. Yapılan serbest basınç deneyleri ile örneklerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerini elde etmek mümkün olmuş, pik dayanım değerlerinin ortalaması dikkate alınarak kullanılan katkıların türü, miktarı ve kür süresi gibi etkenlerin örnekler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Uzun dönemdeki etkileri görmek için 180 güne kadar kürleme yapılmıştır.

Deney sonuçları, katkı maddelerinin eklenmesinin katkısız zemine kıyasla faydalı etkileri olduğunu göstermektedir. Katkının türü ve miktarı farklı dayanımlara ulaşılmasını sağlamıştır. Sadece çimento içeren örneklerde %9 çimento içeren C9 örnekleri en yüksek dayanıma ulaşmıştır (2192 kPa). Katkısız zemine göre dayanım 180 gün sonunda 5.8 kat artmıştır. Çimento ve uçucu kül içeren örneklerde ise en yüksek dayanım C6FA3 (%6 çimento-%3 uçucu kül) örneklerinde tespit edilmiş olup (1558 kPa), katkısız zemine göre dayanım 180 gün sonunda 4.1 kat artmıştır. Çimento ve uçucu kül birlikte kullanıldığında, sadece çimento kullanılan örneklerden daha düşük dayanım vermiştir. Kireç ile birlikte uçucu kül kullanılması dayanımı olumlu yönde etkilemektedir. 180 günün sonunda %9 kireç katkılı L9 örnekleri 2017 kPa dayanıma ulaşmış ve böylece katkısız zemine göre dayanım 5.4 kat artmıştır. Bu çalışmada en uygun karışım %6 kireç ile %3 uçucu kül (L6FA3 örnekleri) kullanıldığında elde edilmiştir. L6FA3 örnekleri ile 180 günlük kür sonunda tüm çalışmada elde edilen en yüksek dayanım olan 2492 kPa'ya (6.6 kat iyileşme) ulaşılmıştır. Örneklerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde katkısız zeminin sünek, % 9 çimento veya kireç katkılı zeminlerin ise gevrek davranış gösterdikleri görülmektedir. Katkı miktarı arttıkça örneklerin pik dayanımlarına karşılık gelen deformasyon miktarları küçülmekte, dolayısıyla katkı miktarı artışı daha gevrek davranışa sebep olmaktadır. Bu çalışmada uçucu kül kireç katkılı örneklerin dayanımını artırmış, ancak çimento katkılı zeminlerin dayanımını azaltmıştır. Little ve Nair [38] katkı seçimine ilişkin geliştirdikleri karar ağacı sınıflandırmasında plastisite indisi 35'ten büyük olan ince daneli zeminler için mutlak suretle kireç / kireç ve uçucu kül kullanılmasını, çimento kullanılması düşünülse dahi kireç ile birlikte uygulanması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmada kullanılan zemin örneklerinin başlangıç plastisite indisinin 45 olduğu hatırlanacak olursa, kireç ve uçucu kül stabilizasyonunun en iyi performansı göstermesi de literatür ile uyumludur. Sasanian ve Newson [30] dayanım artışının 3 yıl kadar devam edebileceğini, kil mineralojisi ve aktivitesinin etkin faktörler olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada da 180 güne kadar olan dayanımlar incelendiğinde kullanılan tüm katkılar için dayanımın artışının zamanla devam ettiği görülmüştür. Dayanım değerlerinin doygunluğa ulaşabilmesi için literatürde de belirtildiği gibi daha uzun zamana ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak, ekonomik çözümlere ulaşmak için atık bir malzeme olan uçucu kül ile kirecin birlikte kullanılması ile yüksek dayanım elde edilmekte ve kil zeminlerde başarılı uygulamalar yapmak mümkün olacaktır. Bunun dışında sadece çimento veya sadece kireç uygulaması yapılması düşünüldüğü takdirde yüksek katkı oranında çimento katkılı zeminlerin, düşük katkı oranında ise kireç katkılı zeminlerin daha yüksek dayanım verdiğine dikkat edilmelidir.

Kaynaklar

- [1] Furlan, A. P., Razakamanantsoa, A. Ranaivomanana, H., Levacher, D. ve Katsumi, T., Shear strength performance of marine sediments stabilized using cement, lime and fly ash, **Construction and Building Materials**, 184, 454-463, (2018).
- [2] Khabbaz, H. ve Fatahi, B., Chemical stabilization of closed landfill sites using chemical agents. In: Anagnostopoulos, A., et al. (Eds.), **Proceedings of 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**, IOS Press, 1777–1782, (2011).
- [3] Louafi, B. ve Bahar, R., Sand: an additive for stabilization of swelling clay soils, **International Journal of Geosciences**, 3, 719–725, (2012).
- [4] Sharma, N. K., Swain, S. K. ve Sahoo, U. C., Stabilization of a clayey soil with fly ash and lime: a micro level investigation, **Geotechnical and Geological Engineering**, 30, 1197–1205, (2012).
- [5] Khemissa, M. ve Mahamedi, A., Cement and lime mixture stabilization of an expansive overconsolidated clay, **Applied Clay Science**, 95, 104-110, (2014).
- [6] Chew, S. H., Kamruzzaman, A. H. M. ve Lee, F.H.: Physicochemical and engineering behavior of cement treated clays, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, ASCE, 130, 7, 696–706 (2004).
- [7] Bell, F. G., Lime stabilization of clay minerals and soils, **Engineering Geology**, 42, 4, 223-237, (1996).
- [8] Little, D. N., Males, E. H., Prusinski, J. R. ve Stewart, B., Cementitious stabilization, 79th Millennium Report Series, Transportation Research Board, Washington, US, (2000).
- [9] Keshawarz, M. S. ve Dutta, U., Stabilization of South Texas soils with fly ash: fly ash for soil improvement, Geotechnical Special Publication No. 36, ASCE, US, (1993).
- [10] Erdal, C., Class C fly ashes for the stabilization of an expansive soil, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, ASCE, 27, 7, 568–573 (2001).
- [11] Cömert, A. T., Uçucu küllerin zemin stabilizasyonuna etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya (2005).
- [12] Sariosseiri, F. ve Muhunthan, B., Geotechnical properties of Palouse Loess modified with cement kiln dust and Portland cement, **GeoCongress**, New Orleans, Louisiana, United States, 978-0-7844-0972-5, (2008).
- [13] Ünver, E., Problemlili kil zeminlerin uçucu kül ile iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, (2015).
- [14] Baldovino, J. A., Moreira, E. B., Teixeira, W., Izzo, R. L. S., Rose, J. L., Effects of lime addition on geotechnical properties of sedimentary soil in Curitiba, Brazil, **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, 10, 1, 188-194, (2018).
- [15] Sharma, L. K., Sirdesai, N. N., Sharma, K. M. ve Singh, T. N., Experimental study to examine the independent roles of lime and cement on the stabilization of a mountain soil: A comparative study, **Applied Clay Science**, 152, 183-195, (2018)
- [16] ASTM D4318, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2017).

- [17] ASTM D2487, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA, (2017).
- [18] ASTM D854, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2014).
- [19] ASTM D698, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)), ASTM International, West Conshohocken, PA, (2012).
- [20] Humboldt Mfg. Co., Harvard Miniature Compaction Apparatus, (2014). https://www.humboldtmfg.com/manuals/H-4165_Harvard_0714.pdf, (28.02.2019).
- [21] D'onofrio, A. ve Penna, A., **Influence of compaction variables on the small strain behaviour of a clayey silt** in Di Benedetto et al. (eds), *Deformation Characteristics of Geomaterials*, Swets & Zeitlinger, Lisse, 337-344, (2003).
- [22] ASTM D2166, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2016).
- [23] Uddin, K., Balasubramaniam, A. S. ve Bergado, D. T., Engineering behavior of cement treated Bangkok soft clay, **Geotechnical Engineering Journal**, 28, 1, 89-119, (1997).
- [24] Zentar, R., Wang, D., Abriak, N.E., Benzerzour, M. ve Chen, W., Utilization of siliceous– aluminous fly ash and cement for solidification of marine sediments, **Construction and Building Materials**, 35, 856–863, (2012).
- [25] Pakbaz, M. S. ve Alipour, R., Influence of cement addition on the geotechnical properties of an Iranian clay, **Applied Clay Science**, 67–68, 1-4, (2012).
- [26] Consoli, N. C., Lopes L. S. Jr ve Heineck K. S., Key parameters for the strength control of lime stabilized soils, *Journal of Materials in Civil Engineering* 21(5):210–216 (2009).
- [27] Yunus, N. Z. M., Marto, A., Pakir, F., Kasran, K., Azri, M. A., Jamal, S. N. J. ve Abdullah, N., Performance of lime-treated marine clay on strength and compressibility characteristics, **International Journal of Geotechnical and Construction Materials and Environment**, 8, 1, 1232-1238, (2015).
- [28] Wang, D., Abriak, N. E. ve Zentar, R., Strength and deformation properties of Dunkirk marine sediments solidified with cement, lime and fly ash, **Engineering Geology**, 166, 90-99, (2013).
- [29] Calik, U. ve Sadoglu, E., Classification, shear strength, and durability of expansive clayey soil stabilized with lime and perlite, **Natural Hazards**, 71, 3, 1289-1303, (2014).
- [30] Ghobadi M. H., Abdilor, Y. ve Babazadeh, R., Stabilization of clay soils using lime and effect of pH variations on shear strength parameters, **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 73, 2, 611-619, (2014).
- [31] Negawo, W. J., Di Emidio, G., Bezuijen, A., Verastegui Flores, R. D. ve François, B., Lime-stabilisation of high plasticity swelling clay from Ethiopia. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, 10.1080/19648189.2017.1304272, (2017).
- [32] Lilley, A. A., Soil-cement roads: experiments with fly ash, **Cement and Concrete Association**, Gt. Britain, Technical Report TRA/158 (Oct. 1954).
- [33] Sasanian, S. ve Newson, T. A., Basic parameters governing the behaviour of cement-treated clays, **Soils and Foundations**, 54(2), 209-224, (2014).

- [34] Kalantari, B. ve Prasad, A., A study of the effect of various curing techniques on the strength of stabilized peat, **Transportation Geotechnics**, 1, 3, 119–128, (2014).
- [35] Zhao, H., Zhou, K., Zhao, C., Gong, B. W. ve Liu, J. A long-term investigation on microstructure of cement-stabilized handan clay, **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, 20, 199–214.10.1080/19648189.2015.1030087, (2016).
- [36] Taylor, H. F. W., **Cement Chemistry**, Thomas Telford, London. (1997).
- [37] Sariosseiri, F. Ve Muhunthan, B., Effect of cement treatment on geotechnical properties of some Washington State soils, **Engineering Geology**, 104, 119–125, (2009).
- [38] Little, N. D. ve Nair, S., Recommended practice for stabilization of subgrade soils and base materials, National Cooperative Highway Research Program, Texas Transportation Institute, A&M University, Texas, (2009).

Semi-invariant lightlike submanifolds of golden semi-Riemannian manifolds

Nergiz (ÖNEN) POYRAZ^{1,*}, Burçin DOĞAN²

¹ Çukurova University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Adana.

² Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Naturel Sciences, Department of Basic Sciences of Engineering, Malatya.

Geliş Tarihi (Received Date): 08.03.2019
Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.07.2019

Abstract

In this study, we introduce semi-invariant lightlike submanifolds of golden semi-Riemannian manifolds. We find some conditions for integrability of distributions. Moreover, we investigate totally geodesic and mixed geodesic distributions of such a submanifold. The paper also contains an example.

Keywords: *Lightlike submanifold, Golden semi-Riemann manifold, semi-invariant submanifold.*

Altın semi-Riemann manifoldların semi-invaryant lightlike altmanifoldları

Öz

Bu makalede altın semi-Riemann manifoldların semi-invaryant lightlike altmanifoldlarını çalıştık. Distribüsyonların integrallenebilirliği için bazı koşullar bulduk. Ayrıca, böyle bir altmanifoldun tamamen geodezik ve mixed geodezik distribüsyonlarını inceledik. Makale, bir adet örnek içermektedir.

Anahtar kelimeler: *Lightlike altmanifold, Altın semi-Riemann manifold, semi-invaryant altmanifold.*

* Nergiz (ÖNEN) POYRAZ, nonen@cu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8110-712X>
Burçin DOĞAN, burcin.dogan@ozal.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-8386-213X>

1. Introduction

The applications in general relativity of degenerate submanifolds of semi-Riemannian manifolds have made such submanifolds one of the most important fields of study in differential geometry. In contrast to the Riemannian and semi-Riemannian submanifolds, the intersection of the normal bundle and the tangent bundle in lightlike submanifolds is not zero. Thus, studying the geometry of lightlike submanifolds is more difficult and complicated. The first studies on lightlike submanifolds are belong to Duggal-Bejancu [7] and Kupeli [17]. Later, Duggal and Şahin introduced a book on lightlike geometry [10]. Many authors have studied on lightlike submanifolds in various spaces, for example [2, 3, 4, 5, 8, 9, 16].

The geometries of some manifolds with differentiable geometric structures, which are quite suitable tools for the differential geometry, are interesting. These manifolds and the transformations between them have been studied extensively in differential geometry. One of these structures is f -structure which is described by Yano in [20]. A tensor field ϕ on manifold \tilde{N} is an f -structure if it satisfies that $\phi^3 + \phi = 0$. The almost complex and contact structures are obvious examples of f -structures. Goldberg and Yano introduced polynomial structures of degree d in [14] by generalizing f -structures. A polynomial structure satisfies the equation $\theta(f) = f_d + a_d f_{d-1} + \dots + a_2 f + a_1 I = 0$, where a_1, a_2, \dots, a_d are real numbers and I is the identity tensor of type $(1,1)$.

Golden proportion ϕ is the real positive root of the equation $x^2 - x - 1 = 0$ (thus, $\phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1.618\dots$). Inspired by the Golden proportion, Crasmareanu and Hretcanu defined \tilde{P} golden structure which is a tensor field satisfying $\tilde{P}^2 - \tilde{P} - I = 0$ on \tilde{N} [6]. In the same paper, it is shown that \tilde{P} is an automorphism of $T\tilde{N}$ and its eigenvalues are ϕ and $1-\phi$. We note that for golden structures, $\tilde{P} \neq \phi I$. If $\tilde{P} = \phi I$, then its minimal polynomial is $X - \phi$. But, the minimal polynomial of the golden structure \tilde{P} is $X^2 - X - 1$ and it is a contraction.

A Riemannian manifold \tilde{N} with a \tilde{P} golden structure is named as a golden Riemannian manifold in [6, 15] and invariant submanifolds of such manifolds were studied in [15]. Later, Erdoğan and Yıldırım researched totally umbilical semi-invariant manifolds of golden manifold in [12]. Many authors investigated the properties of golden structures and golden manifolds in Riemannian [13, 18] and semi-Riemannian geometry. Submanifolds of golden manifolds in degenerate geometry were firstly studied by Poyraz and Yaşar in [19]. In the study, they introduced lightlike hypersurfaces of a golden semi-Riemannian manifold and investigated geometry of such hypersurfaces in detail. Acet studied lightlike hypersurfaces of metallic semi-Riemannian manifolds in [1] and Erdoğan researched transversal lightlike submanifolds of metallic semi-Riemannian manifolds in [11].

In this study, we introduce semi-invariant lightlike submanifolds of golden semi-Riemannian manifolds. We find some conditions for integrability of distributions. Moreover, we investigate totally geodesic and mixed geodesic distributions of such a submanifold. The paper also contains an example.

2. Preliminaries

A golden structure \check{P} on a differentiable manifold \check{N} is defined as

$$\check{P}^2 = \check{P} + I \tag{2.1}$$

and if

$$\check{g}(\check{P}X, Y) = \check{g}(X, \check{P}Y) \tag{2.2}$$

then $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$ is called a golden semi-Riemannian manifold [18].

Let $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$ be a semi-Riemannian golden manifold. Then for any $X, Y \in \Gamma(\check{T}\check{N})$, equation (2.2) can be written as

$$\check{g}(\check{P}X, \check{P}Y) = \check{g}(\check{P}X, Y) + \check{g}(X, Y). \tag{2.3}$$

We denote real space forms with constant sectional curvatures c_p and c_q , by N'_p and N'_q , respectively. Then similar calculations of semi-Riemannian product real space form (see [21]), the Riemannian curvature tensor \bar{R} of a locally Golden product space form $(\check{N} = N'_p(c_p) \times N'_q(c_q), \check{g}, \check{P})$ is calculated as the following

$$\begin{aligned} \bar{R}(X, Y)Z = & \left(-\frac{(1-\varphi)c_p - \varphi c_q}{2\sqrt{5}}\right) \{ \check{g}(Y, Z)X - \check{g}(X, Z)Y + \check{g}(\check{P}Y, Z)\check{P}X - \check{g}(\check{P}X, Z)\check{P}Y \} \\ & + \left(-\frac{(1-\varphi)c_p + \varphi c_q}{4}\right) \{ \check{g}(\check{P}Y, Z)X - \check{g}(\check{P}X, Z)Y + \check{g}(Y, Z)\check{P}X - \check{g}(X, Z)\check{P}Y \}. \end{aligned} \tag{2.4}$$

Let (\check{N}, \check{g}) be a real $(m+n)$ -dimensional semi-Riemannian manifold with index q , such that $m, n \geq 1$, $1 \leq q \leq m+n+1$ and (N', g) be a m -dimensional submanifold of \check{N} , where g is the induced metric of \check{g} on N' . If \check{g} is degenerate on the tangent bundle TN' of N' the N' is named a lightlike submanifold of \check{N} . For a degenerate metric g on N'

$$TN'^{\perp} = \cup \{ u \in T_x \check{N} : \check{g}(u, v) = 0, \forall v \in T_x N', x \in N' \} \tag{2.5}$$

is a degenerate n -dimensional subspace of $T_x \check{N}$. Since, both $T_x N'$ and $T_x N'^{\perp}$ are degenerate orthonormal distributions, there exists a radical (null) space $Rad(T_x N')$ such that $Rad(T_x N') = T_x N' \cap T_x N'^{\perp}$. If $rank(Rad(T_x N')) = r > 0$, then N' is an r -lightlike submanifold of \check{N} .

Denote the complementary distributions of $Rad(TN')$ in TN' and TN'^{\perp} by $S(TN')$ and $S(TN'^{\perp})$, respectively. Also, let $tr(TN')$ and $ltr(TN')$ be complementary (but not orthogonal) vector bundles to TN' in $T\check{N}|_{N'}$ and $Rad(TN')$ in $S(TN'^{\perp})^{\perp}$. Thus, we can write

$$TN' = S(TN') \perp Rad(TN') \quad (2.6)$$

$$tr(TN') = ltr(TN') \perp S(TN'^{\perp}), \quad (2.7)$$

$$\tilde{TN}|_{N'} = TN' \oplus tr(TN') = (Rad(TN') \oplus ltr(TN')) \perp S(TN') \perp S(TN'^{\perp}), \quad (2.8)$$

where $S(TN')$, $S(TN'^{\perp})$, $tr(TN')$ and $ltr(TN')$ are called as screen bundle, screen transversal bundle, transversal bundle and lightlike transversal bundle, respectively.

Theorem 2.1. Let $(N', g, S(TN'), S(TN'^{\perp}))$ be an r -lightlike submanifold of a semi-Riemannian manifold (\tilde{N}, \tilde{g}) . Assume that U is a coordinate neighbourhood of N' and E_i , $i \in \{1, \dots, r\}$ is a basis of $\Gamma(Rad(TN'))|_U$. Then, there exist a complementary vector subbundle $ltr(TN')$ of $Rad(TN')$ in $S(TN'^{\perp})^{\perp}$ and a basis $\{N_i\}$, $i \in \{1, \dots, r\}$ of $\Gamma(ltr(TN'))|_U$ such that

$$\tilde{g}(N_i, E_j) = \delta_{ij}, \quad \tilde{g}(N_i, N_j) = 0, \quad (2.9)$$

for any $i, j \in \{1, \dots, r\}$.

We say that a submanifold $(N', g, S(TN'), S(TN'^{\perp}))$ of \tilde{N} is

Case 1: r -lightlike if $r < \min\{m, n\}$,

Case 2: Coisotropic if $r = n < m$, $S(TN'^{\perp}) = \{0\}$,

Case 3: Isotropic if $r = m < n$, $S(TN') = \{0\}$,

Case 4: Totally lightlike if $r = m = n$, $S(TN') = \{0\} = S(TN'^{\perp})$.

Let $\bar{\nabla}$ be the Levi-Civita connection on \tilde{N} . The Gauss and Weingarten formulas are given by

$$\bar{\nabla}_X Y = \nabla_X Y + h(X, Y), \quad (2.10)$$

$$\bar{\nabla}_X U = -A_U X + \nabla'_X U, \quad (2.11)$$

for any $X, Y \in \Gamma(TN')$ and $U \in tr(TN')$, where $\{\nabla_X Y, A_U X\}$ and $\{h(X, Y), \nabla'_X U\}$ belong to $\Gamma(TN')$ and $\Gamma(tr(TN'))$, respectively. ∇ and ∇' are linear connections on N' and on the vector bundle $tr(TN')$, respectively. Using (2.8), considering the projection morphisms L and S of $tr(TN')$ on $ltr(TN')$ and $S(TN'^{\perp})$, respectively, from (2.10) and (2.11), we get

$$\bar{\nabla}_X Y = \nabla_X Y + h^l(X, Y) + h^s(X, Y), \quad (2.12)$$

$$\bar{\nabla}_X N = -A_N X + \nabla'_X N + D^s(X, N), \quad (2.13)$$

$$\bar{\nabla}_X L = -A_L X + \nabla'_X L + D^l(X, L), \quad (2.14)$$

for any $X, Y \in \Gamma(TN')$, $N \in \Gamma(ltr(TN'))$ and $L \in \Gamma(S(TN'^{\perp}))$, where $h^l(X, Y) = Lh(X, Y)$, $h^s(X, Y) = Sh(X, Y)$, $\nabla'_X N, D^l(X, L) \in \Gamma(ltr(TN'))$, $\nabla'_X L, D^s(X, N) \in \Gamma(S(TN'^{\perp}))$ and $\nabla_X Y, A_N X, A_L X \in \Gamma(TN')$ [8]. Then, using (2.12)-(2.14) and $\bar{\nabla}$ metric connection, we derive

$$\check{g}(h^s(X, Y), L) + \check{g}(Y, D^l(X, L)) = g(A_L X, Y), \tag{2.15}$$

$$\check{g}(D^s(X, N), L) = \check{g}(A_L X, N). \tag{2.16}$$

Let J be a projection of TN' on $S(TN')$. From (2.6) we derive

$$\nabla_X JY = \nabla_X^* JY + h^*(X, JY), \tag{2.17}$$

$$\nabla_X E = -A_E^* X + \nabla_X^* E, \tag{2.18}$$

for any $X, Y \in \Gamma(TN')$ and $E \in \Gamma(Rad(TN'))$, where $\{\nabla_X^* JY, A_E^* X\}$ and $\{h^*(X, JY), \nabla_X^* E\}$ belong to $\Gamma(S(TN'))$ and $\Gamma(Rad(TN'))$, respectively.

By using above equations we obtain

$$\check{g}(h^l(X, JY), E) = g(A_E^* X, JY), \tag{2.19}$$

$$\check{g}(h^*(X, JY), N) = g(A_N X, JY), \tag{2.20}$$

$$\check{g}(h^l(X, E), E) = 0, \quad A_E^* E = 0. \tag{2.21}$$

Furthermore, Gauss equation is given by

$$\begin{aligned} \bar{R}(X, Y)Z &= R(X, Y)Z + A_{h^l(X, Z)} Y - A_{h^l(Y, Z)} X + A_{h^s(X, Z)} Y - A_{h^s(Y, Z)} X \\ &\quad + (\nabla_X h^l)(Y, Z) - (\nabla_Y h^l)(X, Z) + D^l(X, h^s(Y, Z)) - D^l(Y, h^s(X, Z)) \\ &\quad + (\nabla_X h^s)(Y, Z) - (\nabla_Y h^s)(X, Z) + D^s(X, h^l(Y, Z)) - D^s(Y, h^l(X, Z)). \end{aligned} \tag{2.22}$$

for any $X, Y, Z \in \Gamma(TN')$.

3. Semi-invariant lightlike submanifolds of semi-Riemannian golden manifolds

Let $(N', g, S(TN'), S(TN'^{\perp}))$ be a lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then, for any $X \in \Gamma(TN')$, we have

$$\check{P}X = PX + wX, \tag{3.1}$$

where PX and wX are the tangential and transversal components of $\check{P}X$, respectively. Similarly, for any $U \in tr(TN')$, we have

$$\check{P}U = BU + CU \tag{3.2}$$

where BU and CU are the tangential and transversal components of $\check{P}U$, respectively.

Definition 3.1. Let N' be a lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. If $\check{P}(Rad(TN')) \subset S(TN')$, $\check{P}(ltr(TN')) \subset S(TN')$ and $\check{P}(S(TN'^{\perp})) \subset S(TN')$ then we call that N' is a semi-invariant lightlike submanifold.

If we set $D_1 = \check{P}(Rad(TN'))$, $D_2 = \check{P}(ltr(TN'))$ and $D_3 = \check{P}(S(TN'^{\perp}))$ then we have

$$S(TN') = D_0 \perp \{D_1 \oplus D_2\} \perp D_3. \quad (3.3)$$

Thus we derive

$$TN' = D_0 \perp \{D_1 \oplus D_2\} \perp D_3 \perp Rad(TN'), \quad (3.4)$$

$$T\check{N} = D_0 \perp \{D_1 \oplus D_2\} \perp D_3 \perp S(TN'^{\perp}) \perp \{Rad(TN') \oplus ltr(TN')\}. \quad (3.5)$$

According to this definition we can write

$$D = D_0 \perp D_1 \perp Rad(TN') \quad (3.6)$$

And

$$D^{\perp} = D_2 \perp D_3. \quad (3.7)$$

Thus we have

$$TN' = D \oplus D^{\perp} \quad (3.8)$$

For Case (2), we know that $S(TN'^{\perp}) = \{0\}$. Then we derive

$$S(TN') = \{D_1 \oplus D_2\} \perp D_0, \quad (3.9)$$

$$TN' = \{D_1 \oplus D_2\} \perp D_0 \perp Rad(TN'), \quad (3.10)$$

$$T\check{N} = \{D_1 \oplus D_2\} \perp D_0 \perp \{Rad(TN') \oplus ltr(TN')\}, \quad (3.11)$$

$$TN' = D \oplus D_2. \quad (3.12)$$

Proposition 3.2. The distribution D_0 are D are invariant distributions with respect to \check{P} .

Lemma 3.3. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$ with $\bar{\nabla}\check{P} = 0$. Then, we have

$$(\nabla_X P)Y = A_{wY}X + Bh(X, Y), \quad (3.13)$$

$$w\nabla_X Y = \nabla_X^t wY + h(X, PY), \quad (3.14)$$

$$\nabla_X BU = -PA_U X + B\nabla_X^t U, \quad (3.15)$$

$$h(X, BU) = -wA_U X, \quad (3.16)$$

for any $X, Y \in \Gamma(TN')$ and $U \in \Gamma(tr(TN'))$.

Throughout this paper, we assume $\bar{\nabla}\check{P} = 0$.

Lemma 3.4. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then, we have

$$P^2 X = PX + X - BwX, \quad (3.17)$$

$$wPX = wX, \quad PB U = BU, \quad wBU = U, \quad (3.18)$$

$$g(PX, Y) - g(X, PY) = g(X, wY) - g(wX, Y), \tag{3.19}$$

$$g(PX, PY) = g(PX, Y) + g(X, Y) + g(wX, Y) - g(PX, wY) - g(wX, PY) - g(wX, wY), \tag{3.20}$$

for any $X, Y \in \Gamma(TN')$ and $U \in \Gamma(tr(TN'))$.

Lemma 3.5. Let N' be a lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then P is golden structure on N' iff $wX = 0$.

Example 3.6. Let $(\check{N} = \mathbb{R}_2^7, \check{g})$ be a 7-dimensional semi-Euclidean space with signature $(-, -, +, +, +, +, +)$ and $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$ be the standard coordinate system of \mathbb{R}_2^7 . If we define a mapping \check{P} by

$\check{P}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) = ((1 - \varphi)x_1, \varphi x_2, \varphi x_3, (1 - \varphi)x_4, \varphi x_5, (1 - \varphi)x_6, \varphi x_7)$ then $\check{P}^2 = \check{P} + I$ and \check{P} is a golden structure on \mathbb{R}_2^7 . Let N' be a submanifolds of \check{N} given by

$$\begin{aligned} x_1 &= \varphi u_1 + \frac{1}{2(2 + \varphi)} u_2 - u_3, & x_2 &= u_1 - \frac{\varphi}{2(2 + \varphi)} u_2 + \varphi u_3, \\ x_3 &= u_1 + \frac{\varphi}{2(2 + \varphi)} u_2 + \varphi u_3, & x_4 &= \varphi u_1 - \frac{1}{2(2 + \varphi)} u_2 - u_3, \\ x_5 &= -u_4, & x_6 &= -u_4 - u_5, & x_7 &= \varphi u_4 + \varphi u_5, \end{aligned}$$

where $u_i, 1 \leq i \leq 5$, are real parameters. Thus $TN' = Sp\{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$ where,

$$\begin{aligned} U_1 &= \varphi \frac{\partial}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_2} + \frac{\partial}{\partial x_3} + \varphi \frac{\partial}{\partial x_4}, & U_2 &= \frac{1}{2(2 + \varphi)} \left(\frac{\partial}{\partial x_1} - \varphi \frac{\partial}{\partial x_2} + \varphi \frac{\partial}{\partial x_3} - \frac{\partial}{\partial x_4} \right), \\ U_3 &= -\frac{\partial}{\partial x_1} + \varphi \frac{\partial}{\partial x_2} + \varphi \frac{\partial}{\partial x_3} - \frac{\partial}{\partial x_4}, & U_4 &= -\frac{\partial}{\partial x_5} - \frac{\partial}{\partial x_6} + \varphi \frac{\partial}{\partial x_7}, & U_5 &= -\frac{\partial}{\partial x_6} + \varphi \frac{\partial}{\partial x_7}. \end{aligned}$$

Then N' is a 1-lightlike submanifold. We have $Rad(TN') = Sp\{E = U_1\}$ and $S(TN') = Sp\{U_2, U_3, U_4, U_5\}$. Therefore, we derive

$$ltr(TN') = Sp \left\{ N = -\frac{1}{2(2 + \varphi)} \left(\varphi \frac{\partial}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_2} - \frac{\partial}{\partial x_3} - \varphi \frac{\partial}{\partial x_4} \right) \right\}$$

And

$$S(TN'^{\perp}) = Sp \left\{ L = \varphi \frac{\partial}{\partial x_6} + \frac{\partial}{\partial x_7} \right\}.$$

Furthermore, we get

$$\check{P}E = U_3, \check{P}N = U_2, \check{P}L = U_4.$$

If we set $D_0 = Sp\{U_5\}$, $D_1 = Sp\{U_3\}$, $D_2 = Sp\{U_2\}$, $D_3 = Sp\{U_4\}$, then N' is a semi-invariant lightlike submanifold of \check{N} .

Theorem 3.7. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then D is integrable iff

$$h'(\check{P}X, \check{P}Y) = h'(\check{P}X, Y) + h'(X, Y), h^s(\check{P}X, \check{P}Y) = h^s(\check{P}X, Y) + h^s(X, Y) \quad (3.21)$$

for any $X, Y \in \Gamma(D)$.

Proof. For any $X, Y \in \Gamma(D)$, $E \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^\perp))$ and $N \in \Gamma(\text{ltr}(TN'))$ the distribution D is integrable iff

$$\check{g}([\check{P}X, Y], \check{P}E) = \check{g}([\check{P}X, Y], \check{P}L) = 0.$$

Then, from (2.1) and (2.12) we obtain

$$\check{g}([\check{P}X, Y], \check{P}E) = \check{g}(h'(\check{P}X, \check{P}Y) - h'(Y, \check{P}X) - h'(Y, X), E), \quad (3.22)$$

$$\check{g}([\check{P}X, Y], \check{P}L) = \check{g}(h^s(\check{P}X, \check{P}Y) - h^s(Y, \check{P}X) - h^s(Y, X), L) \quad (3.23)$$

which completes the proof.

Theorem 3.8. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. If D is integrable, then the leaves of D have a golden structure.

Proof. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold and M' a leaf of D . Since D is integrable, then for any $p \in M'$, we have $T_p M' = (D)_p$.

Letting $P' = P|_p$, we say that P' defines an (1,1)-tensor field on M' because D is \check{P} -invariant.

If $X \in \Gamma(D)$, then $wX = 0$. Thus we derive

$$P^2 X = P^2 X = \check{P}^2 X = \check{P}X + X = PX + X = P'X + X$$

which proves our assertion.

Theorem 3.9. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifolds of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then the distribution D^\perp is integrable iff

$$(i) \check{g}(h^*(X, Y) - h^*(Y, X), N) = \check{g}(A_{U_2} X - A_{U_1} Y, N),$$

$$(ii) \check{g}(A_{U_1} Y, \check{P}N) = \check{g}(A_{U_2} X, \check{P}N),$$

$$(iii) \check{g}(A_{U_1} Y, \check{P}Z) = \check{g}(A_{U_2} X, \check{P}Z),$$

for any $X, Y \in \Gamma(D^\perp)$, $Z \in \Gamma(D_0)$, $N \in \Gamma(\text{ltr}(TN'))$ and $U_1, U_2 \in \Gamma(\text{tr}(TN'))$.

Proof. For any $X, Y \in \Gamma(D^\perp)$, $Z \in \Gamma(D_0)$ and $N \in \Gamma(\text{ltr}(TN'))$ the distribution D^\perp is integrable iff

$$\check{g}([X, Y], \check{P}N) = \check{g}([X, Y], N) = \check{g}([X, Y], Z) = 0$$

Choosing $X, Y \in \Gamma(D^\perp)$, there is a vector field $U_1, U_2 \in \Gamma(\text{tr}(TN'))$ such that $X = \check{P}U_1$ and $Y = \check{P}U_2$. Then, from (2.1), (2.11), (2.12) and (2.17) we derive

$$\begin{aligned} \check{g}([X, Y], \check{P}N) &= \check{g}(\check{\nabla}_X Y - \check{\nabla}_Y X, \check{P}N) = \check{g}(\check{\nabla}_X \check{P}U_2 - \check{\nabla}_Y \check{P}U_1, \check{P}N) \\ &= \check{g}(\check{\nabla}_X \check{P}U_2 - \check{\nabla}_Y \check{P}U_1, N) + \check{g}(\check{\nabla}_X U_2 - \check{\nabla}_Y U_1, N) \\ &= \check{g}(h^*(X, \check{P}U_2) - h^*(Y, \check{P}U_1), N) - \check{g}(A_{U_2} X - A_{U_1} Y, N), \end{aligned} \tag{3.24}$$

$$\begin{aligned} \check{g}([X, Y], N) &= \check{g}(\check{\nabla}_X Y - \check{\nabla}_Y X, N) = \check{g}(\check{\nabla}_X \check{P}U_2 - \check{\nabla}_Y \check{P}U_1, N) \\ &= \check{g}(\check{\nabla}_X U_2 - \check{\nabla}_Y U_1, \check{P}N) = \check{g}(A_{U_1} Y - A_{U_2} X, \check{P}N), \end{aligned} \tag{3.25}$$

$$\begin{aligned} \check{g}([X, Y], Z) &= \check{g}(\check{\nabla}_X Y - \check{\nabla}_Y X, Z) = \check{g}(\check{\nabla}_X \check{P}U_2 - \check{\nabla}_Y \check{P}U_1, Z) \\ &= \check{g}(\check{\nabla}_X U_2 - \check{\nabla}_Y U_1, \check{P}Z) = \check{g}(A_{U_1} Y - A_{U_2} X, \check{P}Z). \end{aligned} \tag{3.26}$$

This completes our proof.

Theorem 3.10. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then $\text{Rad}(TN')$ is integrable iff

- (i) $g(h^*(E, \check{P}E'), N) = \check{g}(h^*(E', \check{P}E), N)$,
- (ii) $\check{g}(h^l(E, \check{P}E'), E_1) = \check{g}(h^l(E', \check{P}E), E_1)$,
- (iii) $\check{g}(h^s(E, \check{P}E'), L) = \check{g}(h^s(E', \check{P}E), L)$,
- (iv) $g(A_E^* E', X) = g(A_{E'}^* E, X)$,

for any $X \in \Gamma(D_0)$, $E, E', E_1 \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $N \in \Gamma(\text{ltr}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^\perp))$.

Proof. $\text{Rad}(TN')$ is integrable iff

$$\check{g}([E, E'], \check{P}N) = \check{g}([E, E'], \check{P}E_1) = \check{g}([E, E'], \check{P}L) = \check{g}([E, E'], X) = 0$$

for any $X \in \Gamma(D_0)$, $E, E', E_1 \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $N \in \Gamma(\text{ltr}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^\perp))$. Then, from (2.12), (2.17) and (2.18) we get

$$\begin{aligned} \check{g}([E, E'], \check{P}N) &= \check{g}(\check{\nabla}_E E' - \check{\nabla}_{E'} E, \check{P}N) = \check{g}(\check{\nabla}_E \check{P}E' - \check{\nabla}_{E'} \check{P}E, N) \\ &= \check{g}(h^*(E, \check{P}E') - h^*(E', \check{P}E), N), \end{aligned} \tag{3.27}$$

$$\begin{aligned} \check{g}([E, E'], \check{P}E_1) &= \check{g}(\check{\nabla}_E E' - \check{\nabla}_{E'} E, \check{P}E_1) = \check{g}(\check{\nabla}_E \check{P}E' - \check{\nabla}_{E'} \check{P}E, E_1) \\ &= \check{g}(h^l(E, \check{P}E') - h^l(E', \check{P}E), E_1), \end{aligned} \tag{3.28}$$

$$\begin{aligned}\check{g}([E, E'], \check{P}L) &= \check{g}(\bar{\nabla}_E E' - \bar{\nabla}_{E'} E, \check{P}L) = \check{g}(\bar{\nabla}_E \check{P}E' - \bar{\nabla}_{E'} \check{P}E, L) \\ &= \check{g}(h^s(E, \check{P}E') - h^s(E', \check{P}E), L),\end{aligned}\quad (3.29)$$

$$\check{g}([E, E'], X) = \check{g}(\bar{\nabla}_E E' - \bar{\nabla}_{E'} E, X) = g(A_E^* E' - A_{E'}^* E, X) = 0. \quad (3.30)$$

This completes the proof.

Theorem 3.11. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then, $\check{P}(\text{Rad}(TN'))$ is integrable iff

- (i) $\check{g}(h^l(\check{P}E_1, E_2), E) = \check{g}(h^l(\check{P}E_2, E_1), E)$,
- (ii) $\check{g}(h^s(\check{P}E_1, E_2), L) = \check{g}(h^s(\check{P}E_2, E_1), L)$
- (iii) $g(A_N \check{P}E_1, \check{P}E_2) = g(A_N \check{P}E_2, \check{P}E_1)$,
- (iv) $g(A_{E_1}^* \check{P}E_2, \check{P}X) = g(A_{E_2}^* \check{P}E_1, \check{P}X)$,

for any $X \in \Gamma(D_0)$, $E, E', E_1 \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $N \in \Gamma(\text{ltr}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^\perp))$.

Proof. $\check{P}\text{Rad}(TN')$ is integrable iff

$$\check{g}([\check{P}E_1, \check{P}E_2], \check{P}E) = \check{g}([\check{P}E_1, \check{P}E_2], \check{P}L) = \check{g}([\check{P}E_1, \check{P}E_2], N) = \check{g}([\check{P}E_1, \check{P}E_2], X) = 0,$$

for any $X \in \Gamma(D_0)$, $E, E', E_1 \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $N \in \Gamma(\text{ltr}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^\perp))$. Since $\bar{\nabla}$ is a metric connection, from (2.1), (2.12), (2.13) and (2.18) we obtain

$$\begin{aligned}\check{g}([\check{P}E_1, \check{P}E_2], \check{P}E) &= \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} \check{P}E_2 - \bar{\nabla}_{\check{P}E_2} \check{P}E_1, \check{P}E) \\ &= \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} \check{P}E_2, \check{P}E) - \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_2} \check{P}E_1, \check{P}E) \\ &= \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} \check{P}E_2, E) + \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} E_2, E) - \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_2} \check{P}E_1, E) - \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_2} E_1, E) \\ &= \check{g}(h^l(\check{P}E_1, \check{P}E_2), E) + \check{g}(h^l(\check{P}E_1, E_2), E) \\ &\quad - \check{g}(h^l(\check{P}E_2, \check{P}E_1), E) - \check{g}(h^l(\check{P}E_2, E_1), E) \\ &= \check{g}(h^l(\check{P}E_1, E_2), E) - \check{g}(h^l(\check{P}E_2, E_1), E),\end{aligned}\quad (3.31)$$

$$\begin{aligned}\check{g}([\check{P}E_1, \check{P}E_2], \check{P}L) &= \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} \check{P}E_2 - \bar{\nabla}_{\check{P}E_2} \check{P}E_1, \check{P}L) \\ &= \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} \check{P}E_2, \check{P}L) - \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_2} \check{P}E_1, \check{P}L) \\ &= \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} \check{P}E_2, L) + \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} E_2, L) - \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_2} \check{P}E_1, L) - \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_2} E_1, L) \\ &= \check{g}(h^s(\check{P}E_1, \check{P}E_2), L) + \check{g}(h^s(\check{P}E_1, E_2), L) \\ &\quad - \check{g}(h^s(\check{P}E_2, \check{P}E_1), L) - \check{g}(h^s(\check{P}E_2, E_1), L) \\ &= \check{g}(h^s(\check{P}E_1, E_2), L) - \check{g}(h^s(\check{P}E_2, E_1), L),\end{aligned}\quad (3.32)$$

$$\begin{aligned}\check{g}([\check{P}E_1, \check{P}E_2], N) &= \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} \check{P}E_2 - \bar{\nabla}_{\check{P}E_2} \check{P}E_1, N) = \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} \check{P}E_2, N) - \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_2} \check{P}E_1, N) \\ &= -\check{g}(\check{P}E_2, \bar{\nabla}_{\check{P}E_1} N) + \check{g}(\check{P}E_1, \bar{\nabla}_{\check{P}E_2} N) \\ &= g(A_N \check{P}E_1, \check{P}E_2) - g(A_N \check{P}E_2, \check{P}E_1),\end{aligned}\quad (3.33)$$

$$\begin{aligned} \check{g}([\check{P}E_1, \check{P}E_2], X) &= \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} \check{P}E_2 - \bar{\nabla}_{\check{P}E_2} \check{P}E_1, X) = \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_1} E_2, \check{P}X) - \check{g}(\bar{\nabla}_{\check{P}E_2} E_1, \check{P}X) \\ &= g(A_{E_1}^* \check{P}E_2 - A_{E_2}^* \check{P}E_1, \check{P}X) = 0. \end{aligned} \tag{3.34}$$

Thus the proof is completed.

Theorem 3.12. Let N' be a semi invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then, each leaf of radical distribution is totally geodesic on N' iff

- (i) $A_{E_2}^* E_1 \in \Gamma(D_1 \perp D_3)$,
 - (ii) $\check{g}(h^*(E_1, \check{P}E_2), N) = 0$,
 - (iii) $\check{g}(h^s(E_1, \check{P}E_2), L) = 0$,
- for any $E, E_1, E_2 \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $N \in \Gamma(\text{ltr}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^{\perp}))$.

Proof. Radical distribution is totally geodesic iff

$$g(\nabla_{E_1} E_2, \check{P}E) = g(\nabla_{E_1} E_2, X) = g(\nabla_{E_1} E_2, \check{P}N) = g(\nabla_{E_1} E_2, \check{P}L) = 0,$$

for any $X \in \Gamma(D_0)$, $E, E_1, E_2 \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $N \in \Gamma(\text{ltr}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^{\perp}))$. Using (2.12), (2.17) and (2.18), we have

$$g(\nabla_{E_1} E_2, \check{P}E) = \check{g}(\bar{\nabla}_{E_1} E_2, \check{P}E) = -g(A_{E_2}^* E_1, \check{P}E), \tag{3.35}$$

$$g(\nabla_{E_1} E_2, X) = \check{g}(\bar{\nabla}_{E_1} E_2, X) = -g(A_{E_2}^* E_1, X), \tag{3.36}$$

$$\check{g}(\nabla_{E_1} E_2, \check{P}N) = \check{g}(\bar{\nabla}_{E_1} E_2, \check{P}N) = \check{g}(h^*(E_1, \check{P}E_2), N), \tag{3.37}$$

$$\check{g}(\nabla_{E_1} E_2, \check{P}L) = \check{g}(\bar{\nabla}_{E_1} E_2, \check{P}L) = \check{g}(h^s(E_1, \check{P}E_2), L). \tag{3.38}$$

Hence, from (3.35)-(3.38) we complete the proof.

Definition 3.13. Let N' be a proper semi-invariant r-lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold \check{N} . If

$$h(X, Y) = 0, \quad \forall X \in \Gamma(D) \text{ and } Y \in \Gamma(D^{\perp})$$

then, N' is called as mixed-geodesic submanifold.

Theorem 3.14. Let N' be a semi invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then the followings are equivalent:

- i) N' is mixed geodesic,
- ii) $A_U X$ has only component in $\Gamma(D)$,
- iii) $A_E^* X$ and $A_L X$ have no components in D_1 and D_3 .
- iv) $\nabla_Y^* \check{P}E, \nabla_Y^* \check{P}L \in \Gamma(D_0 \perp D_2)$

for any $X \in \Gamma(D)$, $Y \in \Gamma(D^{\perp})$, $E \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $U \in \Gamma(\text{tr}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^{\perp}))$.

Proof. N' is mixed- geodesic iff

$$\bar{g}(h(X, Y), E) = 0 \text{ and } \bar{g}(h(X, Y), L) = 0$$

for any $X \in \Gamma(D)$, $Y \in \Gamma(D^\perp)$, $E \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN^\perp))$. Choosing $Y \in \Gamma(D^\perp)$, there is a vector field $U \in \Gamma(\text{tr}(TM))$ such that $Y = \check{P}U$. Using (2.10) and (2.11) we have

$$\begin{aligned} \bar{g}(h(X, Y), E) &= \bar{g}(\bar{\nabla}_X Y, E) = \bar{g}(\bar{\nabla}_X \check{P}U, E) \\ &= \bar{g}(\bar{\nabla}_X U, \check{P}E) = -\bar{g}(A_U X, \check{P}E), \end{aligned} \quad (3.39)$$

$$\begin{aligned} \bar{g}(h(X, Y), L) &= \bar{g}(\bar{\nabla}_X Y, L) = \bar{g}(\bar{\nabla}_X \check{P}U, L) \\ &= \bar{g}(\bar{\nabla}_X U, \check{P}L) = -\bar{g}(A_U X, \check{P}L). \end{aligned} \quad (3.40)$$

Thus we derive (i) \Leftrightarrow (ii). From (2.10), (2.14) and (2.18) we get

$$\bar{g}(h(X, Y), E) = g(Y, A_E^* X), \quad (3.41)$$

$$\bar{g}(h(X, Y), L) = \bar{g}(Y, A_L X - D^l(X, L)). \quad (3.42)$$

Hence we obtain (i) \Leftrightarrow (iii). Since $\bar{\nabla}$ is a metric connection, from (2.10) we derive

$$\begin{aligned} \bar{g}(h(\check{P}X, Y), E) &= \bar{g}(h(Y, \check{P}X), E) = \bar{g}(\bar{\nabla}_Y \check{P}X, E) = -\bar{g}(\check{P}X, \bar{\nabla}_Y E) \\ &= -\bar{g}(X, \bar{\nabla}_Y \check{P}E) = -g(X, \nabla_Y^* \check{P}E), \\ \bar{g}(h(\check{P}X, Y), L) &= \bar{g}(h(Y, \check{P}X), L) = \bar{g}(\bar{\nabla}_Y \check{P}X, L) = -\bar{g}(\check{P}X, \bar{\nabla}_Y L) \\ &= -\bar{g}(X, \bar{\nabla}_Y \check{P}L) = -g(X, \nabla_Y^* \check{P}L). \end{aligned}$$

Thus we derive (i) \Leftrightarrow (iv).

Definition 3.15. A semi-invariant submanifold N' of a golden semi-Riemannian manifold N' is named as D -totally geodesic (resp. D^\perp -totally geodesic) if its the second fundamental form h satisfies $h(X, Y) = 0$ (resp. $h(Z, L) = 0$), for any $X, Y \in \Gamma(D)$, $(Z, L \in \Gamma(D^\perp))$.

Theorem 3.16. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \bar{g}, \check{P})$. Then the followings are equivalent:

- (i) N' is D -geodesic,
- (ii) $A_E^* X \in \Gamma(D_1 \perp D_3)$ and $g(Y, A_L X) = g(Y, D^l(X, L))$,
- (iii) $\nabla_X^* Y$ has no components in D_2 and D_3 ,
- (iv) $\nabla_X^* \check{P}E, \nabla_X^* \check{P}L \in \Gamma(D_1 \perp D_3)$,

for any $X, Y \in \Gamma(D)$, $E \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN^\perp))$.

Proof. For any $X, Y \in \Gamma(D)$, $E \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$ and $L \in \Gamma(S(TN^\perp))$, using (2.10), (2.14) and (2.18) we obtain

$$\check{g}(h(X, Y), E) = g(Y, A_E^* X), \tag{3.43}$$

And

$$\check{g}(h(X, Y), L) = \check{g}(Y, A_L X - D^l(X, L)). \tag{3.44}$$

Hence we derive (i) \Rightarrow (ii). Since $\bar{\nabla}$ is a metric connection, from (2.10), (2.14) and (2.18) we get

$$\begin{aligned} g(\nabla_X^* Y, \check{P}E) &= \check{g}(\bar{\nabla}_X Y, \check{P}E) = \check{g}(\bar{\nabla}_X \check{P}Y, E) \\ &= -\check{g}(\check{P}Y, \bar{\nabla}_X E) = \check{g}(\check{P}Y, A_E^* X). \end{aligned} \tag{3.45}$$

$$\begin{aligned} g(\nabla_X^* Y, \check{P}L) &= \check{g}(\bar{\nabla}_X Y, \check{P}L) = \check{g}(\bar{\nabla}_X \check{P}Y, L) \\ &= -\check{g}(\check{P}Y, \bar{\nabla}_X L) = \check{g}(\check{P}Y, A_L X - D^l(X, L)). \end{aligned} \tag{3.46}$$

This is (ii) \Rightarrow (iii). Similarly, since $\bar{\nabla}$ is a metric connection, from (2.10) and (2.17) we have

$$g(\nabla_X^* \check{P}E, Y) = \check{g}(\bar{\nabla}_X \check{P}E, Y) = -\check{g}(\check{P}E, \bar{\nabla}_X Y) = -\check{g}(\check{P}E, \nabla_X^* Y), \tag{3.47}$$

And

$$g(\nabla_X^* \check{P}L, Y) = \check{g}(\bar{\nabla}_X \check{P}L, Y) = -\check{g}(\check{P}L, \bar{\nabla}_X Y) = -\check{g}(\check{P}L, \nabla_X^* Y). \tag{3.48}$$

Hence we get (iii) \Rightarrow (iv). Since $\bar{\nabla}$ is a metric connection, using (2.1), (2.10) and (2.17) we derive

$$\begin{aligned} \check{g}(h(X, Y), E) &= \check{g}(\bar{\nabla}_X Y, E) = \check{g}(\bar{\nabla}_X \check{P}Y, \check{P}E) - \check{g}(\bar{\nabla}_X Y, \check{P}E) \\ &= -\check{g}(\check{P}Y, \bar{\nabla}_X \check{P}E) + \check{g}(Y, \bar{\nabla}_X \check{P}E) = -\check{g}(\check{P}Y, \nabla_X^* \check{P}E) + \check{g}(Y, \nabla_X^* \check{P}E). \end{aligned} \tag{3.49}$$

$$\begin{aligned} \check{g}(h(X, Y), L) &= \check{g}(\bar{\nabla}_X Y, L) = \check{g}(\bar{\nabla}_X \check{P}Y, \check{P}L) - \check{g}(\bar{\nabla}_X Y, \check{P}L) \\ &= -\check{g}(\check{P}Y, \bar{\nabla}_X \check{P}L) + \check{g}(Y, \bar{\nabla}_X \check{P}L) = -\check{g}(\check{P}Y, \nabla_X^* \check{P}L) + \check{g}(Y, \nabla_X^* \check{P}L). \end{aligned} \tag{3.50}$$

Thus we get (iv) \Rightarrow (i).

Theorem 3.17. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then the following statements are equivalent:

- (i) N' is D^\perp – geodesic,
- (ii) $A_E^* X$ and $A_L X$ have no components in D_1 and D_3 ,
- (iii) $A_U X$ has no components in D_2 and D_3 ,

for any $X, Y \in \Gamma(D^\perp)$, $E \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $U \in \Gamma(\text{tr}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^\perp))$.

Proof. N' is D^\perp – geodesic iff

$$\check{g}(h(X, Y), E) = 0 \text{ and } \check{g}(h(X, Y), L) = 0,$$

for any $X, Y \in \Gamma(D^\perp)$, $E \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^\perp))$. From (2.10), (2.14) and (2.18) we get

$$\check{g}(h(X, Y), E) = g(Y, A_E^* X), \quad (3.51)$$

and

$$\check{g}(h(X, Y), L) = g(Y, A_L X - D^l(X, L)). \quad (3.52)$$

Thus we derive (i) \Leftrightarrow (ii). Choosing $Y \in \Gamma(D^\perp)$, there is a vector field $U \in \Gamma(\text{tr}(TN'))$ such that $Y = \check{P}U$. Similarly from (2.10) and (2.11) we get

$$\begin{aligned} \check{g}(h(X, Y), E) &= \check{g}(\check{\nabla}_X Y, E) = \check{g}(\check{\nabla}_X \check{P}U, E) \\ &= \check{g}(\check{\nabla}_X U, \check{P}E) = -\check{g}(A_U X, \check{P}E), \end{aligned} \quad (3.53)$$

$$\begin{aligned} \check{g}(h(X, Y), L) &= \check{g}(\check{\nabla}_X Y, L) = \check{g}(\check{\nabla}_X \check{P}U, L) \\ &= \check{g}(\check{\nabla}_X U, \check{P}L) = -\check{g}(A_U X, \check{P}L). \end{aligned} \quad (3.54)$$

This is (i) \Leftrightarrow (iii).

Theorem 3.18. Let N' be a semi-invariant lightlike submanifold of a golden semi-Riemannian manifold $(\check{N}, \check{g}, \check{P})$. Then, following statements are equivalent.

- (i) D is parallel,
- (ii) N' is D -geodesic,
- (iii) P is parallel on N' .

Proof. Using (3.4) we have, D is parallel iff $g(\nabla_X Y, \check{P}E) = g(\nabla_X Y, \check{P}L) = 0$, for any $X, Y \in \Gamma(D)$, $E \in \Gamma(\text{Rad}(TN'))$, $L \in \Gamma(S(TN'^\perp))$. From (2.12) we derive

$$g(\nabla_X Y, \check{P}E) = \check{g}(h^l(X, \check{P}Y), E), \quad (3.55)$$

$$\check{g}(\nabla_X Y, \check{P}L) = \check{g}(h^s(X, \check{P}Y), L). \quad (3.56)$$

Hence we derive (i) \Leftrightarrow (ii). From (3.13) for any $X, Y \in \Gamma(D)$ we have $(\nabla_X P)Y = Bh(X, Y)$. Since N' is D -geodesic, $(\nabla_X P)Y = 0$. Thus we get (ii) \Leftrightarrow (iii).

Now, by using the equation (2.4) and (3.1), we derive

$$\begin{aligned} \bar{R}(X, Y)Z &= \left(-\frac{(1-\varphi)c_p - \varphi c_q}{2\sqrt{5}}\right) \{ \check{g}(Y, Z)X - \check{g}(X, Z)Y + \check{g}(\check{P}Y, Z)PX \\ &\quad + \check{g}(\check{P}Y, Z)wX - \check{g}(\check{P}X, Z)PY - \check{g}(\check{P}X, Z)wY \} \\ &\quad + \left(-\frac{(1-\varphi)c_p + \varphi c_q}{4}\right) \{ \check{g}(\check{P}Y, Z)X + \check{g}(Y, Z)PX + \check{g}(Y, Z)wX \\ &\quad - \check{g}(\check{P}X, Z)Y - \check{g}(X, Z)PY - \check{g}(X, Z)wY \} \end{aligned} \quad (3.57)$$

for any $X, Y, Z \in \Gamma(TN')$. From (2.22) and (3.57), the equations of Gauss and Codazzi for the submanifold N' , respectively, can be written as

$$\begin{aligned}
 & \left(-\frac{(1-\varphi)c_p - \varphi c_q}{2\sqrt{5}}\right) \{ \check{g}(Y, Z)X - \check{g}(X, Z)Y + \check{g}(\check{P}Y, Z)PX - \check{g}(\check{P}X, Z)PY \} \\
 R(X, Y)Z = & \quad + \left(-\frac{(1-\varphi)c_p + \varphi c_q}{4}\right) \{ \check{g}(\check{P}Y, Z)X - \check{g}(\check{P}X, Z)Y \\
 & \quad + \check{g}(Y, Z)PX - \check{g}(X, Z)PY \} \\
 & \quad + A_{h(Y, Z)}X - A_{h(X, Z)}Y.
 \end{aligned} \tag{3.58}$$

and

$$\begin{aligned}
 (\nabla_X h)(Y, Z) - (\nabla_Y h)(X, Z) = & \left(-\frac{(1-\varphi)c_p - \varphi c_q}{2\sqrt{5}}\right) \{ \check{g}(\check{P}Y, Z)wX - \check{g}(\check{P}X, Z)wY \} \\
 & + \left(-\frac{(1-\varphi)c_p + \varphi c_q}{4}\right) \{ \check{g}(Y, Z)wX - \check{g}(X, Z)wY \}.
 \end{aligned} \tag{3.59}$$

for any $X, Y, Z \in \Gamma(TN')$.

Definition 3.19. Let N' be an r-lightlike submanifold of any semi-Riemannian manifold \check{N} . N' is called as curvature-invariant lightlike submanifold if for $\forall X, Y, Z \in \Gamma(TN')$,

$$(\nabla_X h)(Y, Z) - (\nabla_Y h)(X, Z) = 0. \tag{3.60}$$

Theorem 3.20. There is no curvature-invariant semi-invariant lightlike submanifolds in any semi-Riemannian locally golden product space form $(\check{N} = N'_p(c_p) \times N'_q(c_q), \check{g}, \check{P})$ with $c_p, c_q \neq 0$.

Proof. Suppose that N' is a semi curvature-invariant lightlike submanifold of a semi-Riemannian golden product space form $(\check{N} = N'_p(c_p) \times N'_q(c_q), \check{g}, \check{P})$ with $c_p, c_q \neq 0$. Then from (3.59) we have

$$\begin{aligned}
 & \left(-\frac{(1-\varphi)c_p - \varphi c_q}{2\sqrt{5}}\right) \{ \check{g}(\check{P}Y, Z)wX - \check{g}(\check{P}X, Z)wY \} \\
 & + \left(-\frac{(1-\varphi)c_p + \varphi c_q}{4}\right) \{ \check{g}(Y, Z)wX - \check{g}(X, Z)wY \} = 0.
 \end{aligned} \tag{3.61}$$

If we take $X \in \Gamma(D_3)$, $Y \in \Gamma(Rad(TN'))$ and $Z \in \Gamma(D_2)$ in (3.61), then we get

$$\left(-\frac{(1-\varphi)c_p - \varphi c_q}{2\sqrt{5}}\right) \omega X = 0. \tag{3.62}$$

Similarly, if we take $X \in \Gamma(D_3)$, $Y \in \Gamma(D_1)$ and $Z \in \Gamma(D_2)$ in (3.61), then we get

$$\left(-\frac{(1-\varphi)c_p - \varphi c_q}{2\sqrt{5}}\right) \omega X + \left(-\frac{(1-\varphi)c_p + \varphi c_q}{4}\right) \omega Y = 0. \tag{3.63}$$

Using the equations (3.62) and (3.63), we get $c_p, c_q = 0$.

References

- [1] Acet, B. E., Lightlike hypersurfaces of metallic semi-Riemannian manifolds, **Int. Jour. of Geometric method in modern Physics**, 15(12), 185-201, (2018).
- [2] Acet, B. E., Perktaş, S. Y. and Kılıç, E., Lightlike Submanifolds of a Para-Sasakian Manifold, **Gen. Math. Notes**, 22(2), 22-45, (2014).
- [3] Atçeken, M. and Kılıç, E., Semi-Invariant Lightlike Submanifolds of a Semi-Riemannian Product Manifold, **Kodai Math. J.**, 30(3), 361-378, (2007).
- [4] Bahadır, O. and Kılıç, E., Lightlike submanifolds of indefinite Kaehler manifolds with quarter symmetric non-metric connection, **Mathematical Sciences And Applications E-Notes**, 2(2), 89-104, (2014).
- [5] Bahadır, O. and Kılıç, E., Lightlike Submanifolds of a Semi-Riemannian Product Manifold with Quarter Symmetric Non-Metric Connection, **International Electronic Journal of Geometry**, 9(1), 9-22, (2016).
- [6] Crasmareanu, M. and Hretcanu, C. E., Golden Differential Geometry, **Chaos, Solitons & Fractals**, 38, 1229-1238, (2008).
- [7] Duggal, K. L. and Bejancu, A., **Lightlike submanifold of semi-Riemannian manifolds and its applications**, Kluwer Academic, The Netherlands, (1996).
- [8] Duggal, K. L. and Şahin, B., Screen Cauchy Riemann lightlike submanifolds, **Acta Math. Hungar.**, 106(1-2), 137-165, (2005).
- [9] Duggal, K. L. and Şahin, B., Generalized Cauchy Riemann lightlike submanifolds, **Acta Math. Hungar.**, 112(1-2), 113-136, (2006).
- [10] Duggal, K. L. and Şahin, B., **Differential geometry of lightlike submanifolds**, Birkhäuser Verlag, (2010).
- [11] Erdoğan, F. E., Transversal lightlike submanifolds of metallic semi-Riemannian manifolds, **Turkish Journal of Mathematics**, 42 (6), 3133-3148, (2018).
- [12] Erdoğan, F. E. and Yıldırım, C., On a study of the totally umbilical semi-invariant submanifolds of golden Riemannian manifolds, **Politeknik Dergisi** 21 (4), 967-970, (2018).
- [13] Gezer, A., Cengiz, N., Salimov, A., On integrability of golden Riemannian structures, **Turk. J. Math.**, 37, 693-703, (2013).
- [14] Goldberg S.I., Yano K., Polynomial structures on manifolds, **Kodai Math. Sem. Rep.**, 22, 199-218, (1970).
- [15] Hretcanu, C. E., Crasmareanu, M., On some invariant submanifolds in Riemannian manifold with golden structure, **An. Ştiinţ. Univ. Al. I. Cuza Iaşi. Mat. (N.S.)**, 53, suppl. 1, 199-211, (2007).
- [16] Kılıç, E. and Şahin, B., Radical anti-invariant lightlike submanifolds of a Semi-Riemannian Product Manifold, **Turkish Journal of Mathematics**, 32, 429-449, (2008).
- [17] Kupeli, D. N., **Singular Semi-Riemannian Geometry**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (1996).
- [18] Özkan, M., Prolongations of golden structures to tangent bundles, **Diff. Geom. Dyn. Syst.**, 16, 227-238, (2014).
- [19] (Önen) Poyraz, N. and Yaşar, E., Lightlike hypersurfaces of a golden semi-Riemannian manifold, **Mediterr. J. Math.**, 14:204, (2017).
- [20] Yano, K., On a structure defined by a tensor field f of type (1,1) satisfying $f^3 + f = 0$, **Tensor, N.S.**, 14, 99-109, (1963).
- [21] Yano, K. and Kon, M., **Structure on manifolds**, World Scientific Publishing, (1984).

İnşaat sektöründe faaliyet gösteren yüklenicilerin sosyo-kültürel yapısı: Balıkesir ili örneği

Fehmi ÇİVİCİ^{1,*}, Tülay ÇİVİCİ²

¹Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çağış kampüsü, Balıkesir

²Balıkesir Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Çağış kampüsü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 26.03.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 08.07.2019

Öz

Yüklenici firmalar, İnşaat Sektörünün ana aktörlerinden biridir. Yüklenici firmaların sosyo-kültürel durumlarını mesleki alanda etkin bir şekilde kullanımı önemlidir. Bu çalışmada yüklenici firma yöneticilerinin sosyo-kültürel yapılarına etki eden faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için, Balıkesir İli genelinde faaliyette olan yükleniciler ile anket ve mülakat çalışması yapılarak elde edilen sosyo-kültürel bilgilerin sektördeki yansımaları konusunda önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu çalışmada inşaat sektörünün küresel görünümüne önce değinilmiş, sonra faaliyet gösteren yüklenicilerin sosyo-kültürel durumunu etkileyen etmenler detaylı bir şekilde sektörel alan çalışmaları ile ortaya çıkarılmıştır. Edinilen etmenlerin mesleğe katkısı ve sektördeki faaliyetlerini nasıl etkilediği tartışılmış, sektördeki verimlerinin artması için sosyo-kültürel yapı ile ilgili öneriler vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: İnşaat sektörü, yüklenici, sosyo-kültürel yapı.

Socio-cultural structure of contractor firms operating in construction: a sample of Balıkesir

Abstract

Contractor companies are one of the main actors in the construction sector. It is important to use the socio-cultural status of the contractor companies effectively in the professional field. In this study, it is aimed to determine the factors affecting the socio-cultural structures of contractor company managers. For this purpose, significant results have been reached on the reflections of the socio-cultural information obtained

* Fehmi ÇİVİCİ, fcivici@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-9957-1628>

Tülay ÇİVİCİ, tulay@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-5764-7951>

Çalışmada kullanılan verilerin toplanmasında yardım sağlayan öğrencilerimize teşekkür ederiz.

by conducting surveys and interviews with the contractors working in the province of Balıkesir. In this study, the global view of the construction sector was mentioned firstly, and then the factors affecting the socio-cultural status of the active contractors were revealed with sectoral field studies in detail. The contribution of the factors to the profession and how they affect their activities in the sector were discussed and suggestions for socio-cultural structure were emphasized in order to increase their efficiency in the sector.

Keywords: *Construction industry, the contractor, socio-cultural structure.*

1. Giriş

2000' li yıllar ile birlikte ivme kazanan inşaat sektörü Türkiye ekonomisinde belirleyici ve destekleyici konumda olmuştur. Bu sektöre bağlı iş kollarının üretim kapasiteleri ve istihdam oranlarının artması ile yeni paydaşlar türeyerek söz sahibi olmuşlardır. Bu paydaşların çoğu herhangi bir mesleki eğitim görmeden maddi kaynağı olanların sektöre katılmasından öte bir şey değildir. Bu durum sektördeki üretim sürecinden başlayıp, pazarlama aşamasına kadar birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. İnşaat sektörünün uluslararası arenada rekabet üstünlüğü kazanması, inşaat firmalarının yönetim kademelerini oluşturacak mezunlardan hem derinlik hem de genişlik arz edecek özellik ve yetenekler beklemesine neden olmaktadır [1]. Türkiye'deki inşaat firmalarının çoğunluğu profesyonel olmayan en büyük sermaye ortağının söz sahibi olmasıyla kurulmuştur. [2]. Bu oluşumun sektörün doğasında bulunan kendine has özelliklerine uyum sağlayamaması bir çok sorunu gündeme getirmiştir [2]. İnşaat sektöründe temel bileşen olan insan kaynağı proje başarısını etkilemektedir. İnşaat sektörünün birçok meslek grubundaki firmalarla birlikte çalışmasını gerektiren yapısı sebebiyle projelerin düzenli ilerleyebilmesi için etkin ve tutarlı bir iletişim esastır [2]. Sektörde yüklenicilerin sosyo-kültürel yapılarının güçlü oluşu iletişimin doğru ve etkili olmasını sağlayacaktır.

Kültür kelimesi farklı şekillerde tanımlanmıştır. İlk olarak 18. Yüzyılda Avrupa'da barbar kelimesinin karşıtı olan eğitilmiş insan tanımı olarak yapılmıştır. 1843'de Gustav Klemn, 'İnsanlığın Genel Kültür Tarihi' adlı eserinde bir insan topluluğunun yetenek ve becerileri sanatları ve gelenekleri olarak top yekün yaşama stili şeklinde kültürü tanımlamıştır [3].

İnşaat sektöründe üretim süreci, bir yapının gerçekleştirilmesinin yanı sıra, birbiriyle ilişkili ve birbirine bağlı birçok faaliyetin yerine getirilmesiyle sağlanır [4]. Bu süreçte yüklenici firmaların sosyo kültürel yapısı, teknik donanımlarının yanı sıra, sektördeki tüm paydaşları etkilemesi nedeniyle önemlidir. Yüklenici ve alt yükleniciler birçok aşamada üretime katılarak sorunlar ile yüzü yüze gelmektedir. Domino taşları örneğindeki gibi, sektörün tüm paydaşları etkilenmektedir.

Türk inşaat sektöründe yaşanan problemlerin; bürokratik işlemler, kontrol mekanizmaları ve yönetim yaklaşımlarındaki yetersizliklerden kaynaklandığı düşünülse de, aslında tüm sorunların derinliğinde kültürel çeşitliliğe sahip insan kaynakları yer almaktadır [4].

Karyelioğlu [5] çalışmasında; son yıllarda önemli gelişme gösteren inşaat sektörünün ana aktörleri olan yüklenicilerin sosyo-kültürel düzeylerine yönelik bir araştırma yapmıştır. Müteahhitliğin meslek olarak seçilmesindeki nedenlerinin toplumsal arka planı incelenmiştir.

Tekeli ve İlkin [6] yaptıkları çalışmada, küçük inşaat girişimcisi veya taşeron ile büyük inşaat yüklenicisini ayıran en önemli özelliğin iş hacmi ve parasal büyüklük yerine karşılıklı iletişim olduğunu belirtmişlerdir. Bu anlamda; karşılıklı iletişimin kişilerin sosyo-kültürel yapılarını desteklediğini söylemek doğru olacaktır.

Günümüze kadar lokomotif vazifesi gören sektörün ana aktörlerinden biri olan yüklenicilerin bu çalışma ile Balıkesir ili genelinde sahip oldukları sosyo-kültürel yapılarının araştırılması ve bu yapının mesleki anlamda sektörü nasıl etkilediğinin belirlenmesi yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde Ülkemizde sektörün durumuna değinilerek yüklenici firma ve şahısların rolü anlatılmıştır. İkinci bölümde ise; İlimizin sosyo-kültürel yapısına yüklenicilerin katkılarını açıklayabilmek için birebir anket ve mülakat çalışmaları yapılarak önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlar ışığında yüklenicilerin sektördeki verimliliğini arttırabilmek adına öneriler sunulmuştur.

2. İnşaat sektörünün güncel durumu

İnşaat sektörü; ilk önce bina yapım işinin akla gelmesiyle birlikte, enerji santralleri, köprüler, viyadükler, otoyollar, barajlar, havaalanları, limanlar gibi geniş bir faaliyet alanıdır. Günümüzde artan inşaat maliyetlerinin tüketiciye yansması ile sektörde bir durgunluk dönemi yaşanmasına rağmen halen ayakta kalma başarısını göstererek ülke ekonomisine doğrudan ve dolaylı katkı sunmaktadır. Bu anlamda bir yapının proje aşamasından başlayıp üretimi tamamlanıncaya kadar Mimar, Mühendis ve üretimin çeşitli aşamalarında birçok teknik eleman, işçinin görev aldığı bir istihdam alanıdır. 2017 yılı itibari ile ülke ekonomisinin büyüme indeksi, ekonomik politikalar ve yatırımcıların tercihiyle sektör olumlu yönde gelişmiştir. Araştırmalar 2018 yılı sektöre ait tahminlerde Avrupa'da bir durgunluk, ABD ve Kanada'da büyüme öngörmektedir. Rusya da ise beklenen büyüme; bu ülkede faaliyet gösteren müteahhitlik firmaları içinde önemli bir durumdur [7].

Ülkemiz de ise sektörü konut ve altyapı projelerinin yoğunluğu sebebiyle önemli bir ivme kazanmıştır. 2018 yılı tahminleri sektördeki pazarın Ortadoğu ve Afrika ülkelerine kayabileceğini söylemektedir. Bu beklenti Türk yüklenicileri içinde bir fırsat niteliğindedir. 2016-2017 yıllarındaki sektörün olumlu durumu, 2018'e bakıldığında sektör paydaşlarının daha konservatif olduğu görülmektedir [8]. Üretilen konut miktarının tüketilememesi yani; arz-talep dengesizliğinin içinde bulunduğumuz yılda devam etmesi sektörün aktörleri olan yükleniciler açısından olumsuz sonuçlar doğurabilecektir. Ülkemiz içinde faaliyet gösteren sektörün önemli temsilcileri 1972 den beri yurt dışında hizmet vermektedir. Uluslararası inşaat sektörü dergisi Engineering News-Record (ENR)' nin 2018 yılı açıklanan dünyanın en büyük 250 uluslararası yüklenicileri listesinde Türkiye'den 45 firma vardır [9]. ENR' a göre; uluslararası sektörde iş hacmi %14 küçülürken Türk firmaları bu durumdan etkilenmeden iş hacmi ve pazar paylarını arttırmışlardır [9]. İnşaat sektörü 2017 yılında cari fiyatlarla 265 milyar 680 milyon TL katma değer yaratmıştır. Bu veriler ile sektörün Gayri Safi Yurtiçi Hasıladan aldığı pay % 8,6 olmuştur [7].

3. İnşaat sektöründe yüklenicilerin rolü

Ülkemiz ve dünyada ekonomiye ivme kazandıran sektör farklı yüklenicileri bir arada bulundurmaktadır. İnşaat faaliyetleri; son yıllarda oluşan ihtiyaçlar ve zorunluluklar çerçevesinde akıllı bina, ofis, eğlence-aktivite merkezleri ve altyapı odaklı olmuştur. Ayrıca faaliyetlerin arasına yasalarla desteklenen kentsel dönüşüm olgusunu da katmak gerekir. İşte yükleniciler bu projelerin tasarımı ve hayata geçirilmesi aşamalarında görev alarak kendi sermaye, bilgi ve beceri, teknik altyapıları oranında ürünlerin ortaya çıkarılmasında hizmet vermektedirler. Yüklenicilerin sektördeki iş hacminin genelde konut türü yapılar olduğunu görülmektedir [8].

Ülkemizde yüklenici olarak çalışabilmek yeterli birikimi olan her kişi açısından mümkündür. Sadece müteahhitlik yetki belgesinin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na başvurularak alınması yeterlidir. Bu denli denetimsiz bir işleyiş problemleri sonuçlar doğurabilmektedir.

4. Balıkesir'in sosyo-kültürel yapısı

Balıkesir ve çevresinin yerleşim yeri olarak kullanılması M.Ö. 3200' li yıllara kadar uzanmaktadır. İl, Frig, Lidya, Pers, Makedonya, Bergama Krallığı, Roma ve Bizans dönemlerini yaşayarak zengin bir tarihsel dokuya sahiptir [10]. 1071 Malazgirt Savaşı'ndan sonra Karesi Beyliğine merkez olmuştur. 1923 yılında Karesi Vilayeti olan ilimiz 1926 yılında ismi değiştirilerek Balıkesir olmuştur [10]. Tarihsel kültürel bir merkez olan Balıkesir, coğrafi konumu, doğal zenginlikleri ile yaşam şartları açısından tercih edilebilir bir şehirdir. Coğrafi konumuna bağlı olarak geçim kaynakları şekillenmiştir. Denize kıyısı olan ilçelerinde balıkçılık, zeytincilik, bağcılık, iç kısımlarda ise ormancılık, hayvancılık ve tarım alanlarında faaliyetler gösterilmektedir. Sanayi ve ticaret alanında ise tarıma dayalı endüstri kolları gelişmiştir. Sanayi alanına destek veren yeraltı zenginliklerini de unutmamak gerekir. Dünyanın en büyük bor tuzu rezervi il sınırları içindedir. Nüfus yapısına bakıldığında eğitilmiş bireylerin oranının yüksek olduğunu görürüz. Sosyo-kültürel yapı olarak zengin bir potansiyele sahip olması ilin yükleniciler açısından da tercih sebebidir. Bu çalışma ile; ilde faaliyette olan yüklenicilerin sosyo-kültürel yapılarının mesleklerini icra ederken kente katkısının nasıl olduğu araştırılmaktadır.

5. Araştırma yöntemi

İnşaat sektöründe faaliyet gösteren yüklenicilerin sosyo-kültürel yapılarının incelenmesini amaçlayan bu çalışmada veri toplama aracı olarak anket formu hazırlanmıştır. Anket çalışması için Karyelioğlu [5]'nin çalışmasından yararlanılmış ve gerekli izinler alınmıştır. Anket formunun ilk bölümü katılımcıların demografik özelliklerini (yaşları, doğum yerleri, kardeş sayıları, eğitim durumları) içeren sorulardan oluşmaktadır. Sonraki bölüm ise, katılımcının baba/aile mesleğini sürdürüp sürdürmediğini ölçmeye yönelik soruları içermektedir. Son bölümde ise katılımcının mesleki gelişime katkı sağlayacak etkinlik (seminer, mesleki kuruluşlara üyelik, vb.) ve yayın takip (sürelili yayın, mesleki gelişime yönelik dergiler, vb.) düzeyleri ve mesleki doyum düzeylerini belirlemeye yönelik sorular bulunmaktadır. Araştırmada katılımcının bireysel özelliklerini içeren sorular açık uçlu sorulardan, diğer bölümdeki sorularsa evet (=1) / hayır (=2) olmak üzere iki seçeneğe yanıtlanmaktadır.

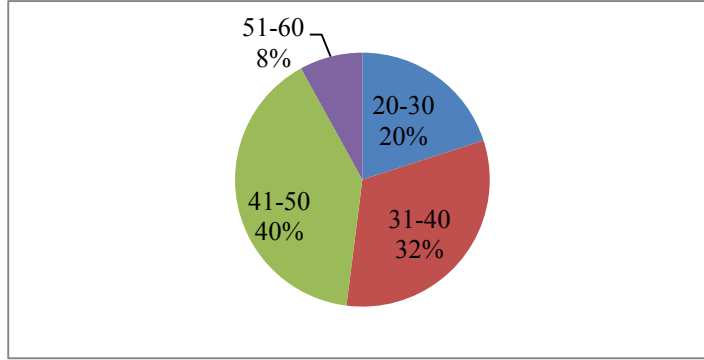
Anket formu hazırlandıktan sonra katılımcılara ulaşabilmek için; Balıkesir Ticaret Odası verilerinden [11] il genelinde konut, inşaat alanında faaliyet gösteren 572 üye tespit edilmiştir. Bu üyelere il merkezinde faaliyet gösteren 60 yüklenici firmadan 40'ına erişim sağlanmıştır. Örneklem grubunun % 66' sını temsil eden katılımcılar ile yüz yüze görüşülerek anket uygulanmıştır.

Katılımcılardan elde edilen verilerin analizleri için SPSS 22, Microsoft Office Excel 2010 yazılımlarından yararlanılmıştır. Analizlerde ikiden fazla değişken (yaş, eğitim, baba mesleği) ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesinde ANOVA (tek yönlü varyans) analizi kullanılmıştır.

5.1. Bulgular

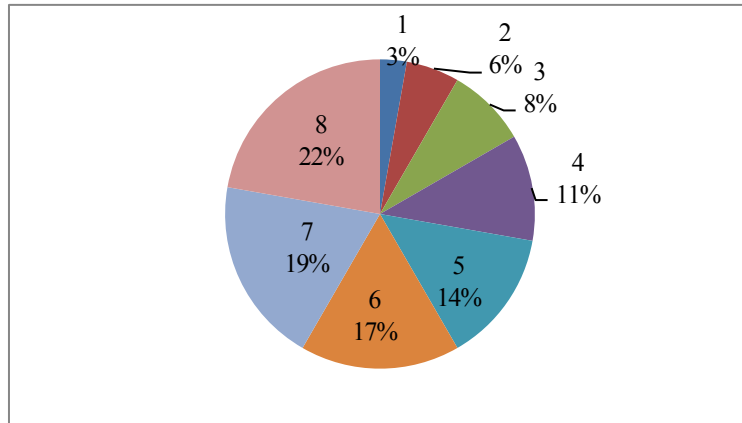
5.1.1. Katılımcıların demografik özellikleri

Elde edilen bulgular katılımcıların yaş aralıklarının %40' nın 41-50 yaş aralığında, % 32'sinin 31-40 aralığında, %20' sinin 20-30 aralığında, %8' nin ise 51-60 aralığında değiştiğini göstermektedir (şekil 1). En düşük oranın 51-60 yaş aralığındayken en yüksek oran ise; 41-50 yaş grupları arasındadır.



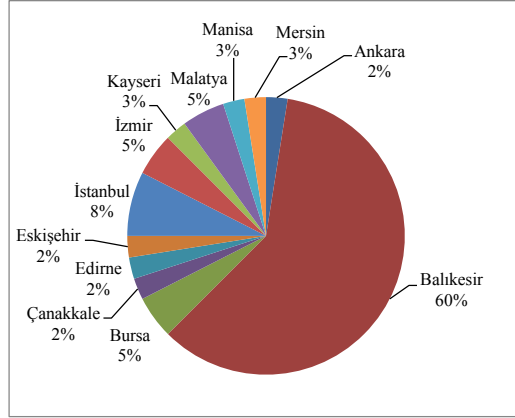
Şekil 1. Katılımcıların yaş aralıkları.

Katılımcıların kardeş sayısı incelendiğinde 1 ile 8 kardeş sayısı arasında değişim göstermektedir. Katılımcılar yüksek oranda 8 kardeş (%22), 7 kardeş (%19), 6 kardeş (% 17) ve 5 kardeş (%14) sayılarına sahiptir. En düşük oran 1 kardeş (%3) sayısına sahip katılımcılardır (şekil 2).



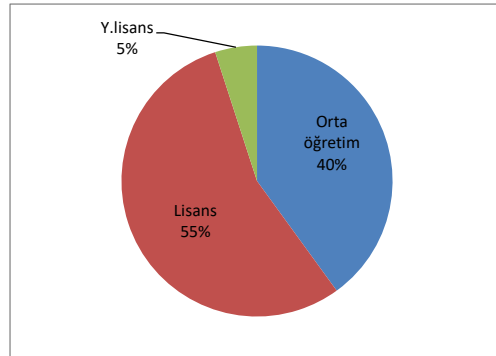
Şekil 2. Katılımcıların kardeş sayıları.

Çalışmada elde edilen bir başka bulgu katılımcıların yüksek oranda (% 60; 24 katılımcı) Balıkesir doğumlu olduğudur. Balıkesir ili dışında Ankara (%2), Mersin (%3) , Manisa (%3), Malatya (%5), Kayseri (%3) , İzmir (%5), İstanbul (%8), Eskişehir (%2), Edirne (%2), Çanakkale (%2), Bursa (%5) illeri arasında dağılım göstermektedir (şekil 3).



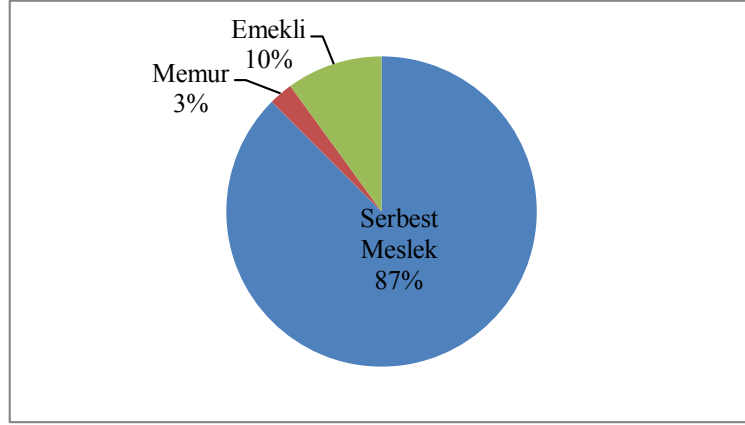
Şekil 3. Katılımcıların doğum yerleri.

Katılımcıların eğitim düzeylerine ilişkin bulgular % 55' inin lisans, % 40' nın orta öğretim, % 5' inin ise yüksek lisans düzeyinde eğitim düzeyine sahip olduğunu göstermektedir (şekil 4).



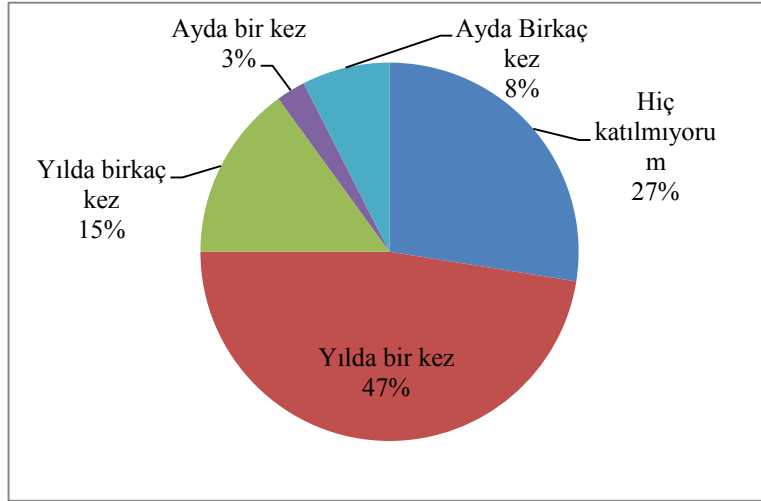
Şekil 4. Katılımcıların eğitim düzeyleri.

Katılımcıların baba mesleği bulguları; %10' unun emekli, %3' ünün memur, %87' sinin ise serbest meslek (marangoz, tesisatçı, emlakçı vb.) sahibi olduğu görülmektedir (Şekil 5).



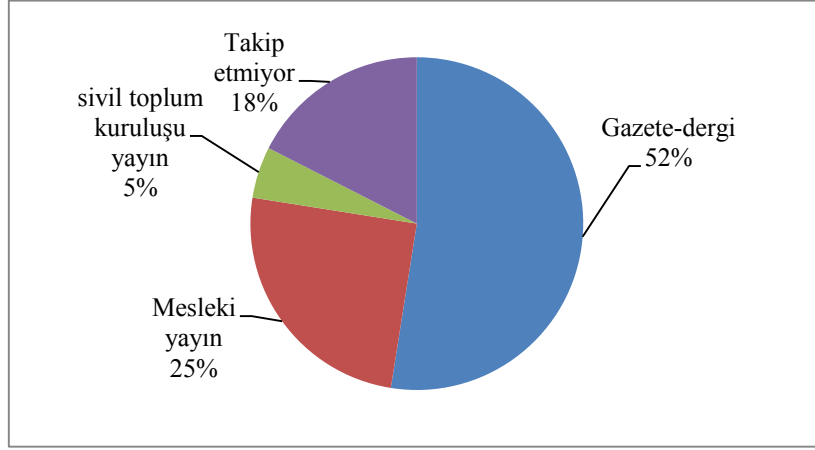
Şekil 5. Katılımcıların baba meslekleri.

Katılımcıların mesleki eğitim faaliyetlerine katılım düzeylerine ilişkin bulgular, yılda bir kez (% 47) ile hiç katılmıyorum (% 27) arasında değiştiğini göstermektedir. Mesleki eğitim faaliyetlerine ayda birkaç kez katılım % 8 iken, yılda birkaç kez % 15, ayda bir kez % 3 dür (şekil 6).



Şekil 6. Katılımcıların mesleki eğitim faaliyetlerine katılım düzeyleri.

Şekil 7' den görüldüğü gibi, yükleniciler genelde gazete ve dergi benzeri yayın organlarını okumaktadırlar. İnşaat sektörü ile ilgili yayın takip edenlerin oranı % 25 tir.



Şekil 7. Katılımcıların süreli yayın takibi.

Anketteki sorulardan cevabı evet (=1) / hayır (=2) olanlar Tablo 1’de özetlenmiştir. Tablo 1’ e göre yer alan “Ailenizde kendi dışınızda yüklenicilik yapan var mıydı?” sorusuna 40 kişiden % 62,5’ i hayır cevabı vermiştir. Bu oran yüklenicilerin meslek seçiminde ailede bulunan yüklenicilerden hangi oranda etkilendiği sorusunu gündeme getirebilir. Örneklem grubu içerisinde yer alan yüklenicilerin % 35’i Balıkesir dışında yüklenicilik faaliyeti yürütmektedir. Geriye kalan % 65 ise Balıkesir içerisinde iş yapmaktadır. Balıkesir dışında da yüklenicilik faaliyeti yürütmüş olanların, faaliyet yürüttükleri yerler büyük oranda Marmara Bölgesi’nde yoğunluk kazanmaktadır. Bulunan bu sonuç, Trabzon ili için yapılan çalışmada elde edilen mesleğin icra alanı olarak aidiyet kavramının etkili olduğu sonucuna benzerdir [5]. Ankete katılan yüklenicilerin % 93’ ü “kesinlikle yeteneklerine uygun” bir işte çalıştıklarını düşünmeleri, mesleği sahiplendikleri ve yaptıkları işten haz ve tatmin oldukları şeklinde yorumlanabilir. 40 yükleniciden % 72, 5’ i mesleğinin herkesin yapabileceği bir meslek olmadığını, zira bilgi birikimi ve ustalık gerektiren özellikli bir meslek olduğunu belirtmişlerdir. Görüşülen yüklenicilerin % 7,5’ i, şehir veya şehirleşme ile ilgili herhangi bir kitap ismi bilmediklerini belirtmişler, sadece % 22, 5’ i konuyla ilgili kitap ismi söylemişlerdir. Yüklenicilerin büyük bir bölümü şehirleşme konusundaki güncel verileri takip etmediklerini söylemişlerdir. Ne yazık ki, takip etme oranı % 17,5’ te kalmıştır. Tablo 1’ de Ticaret odası dışında herhangi bir kuruluşa üye olanların oranı % 52,5 tir. Bu üyelik oranının artması örneğin STK üyelikleri sosyal-kültürel yapılarının daha güçlenmesine katkı sağlayacaktır. “Balıkesirliler yüklenicilere güveniyor mu?” sorusuna verilen cevaplar % 77, 5 oranında evettir. Bu oran yüklenicilerin kendine olan güvenlerinden ve kendi reklamlarını yapma açısından oldukça yüksek bir orandır. Yapılan bu anket çalışmasının araştırma aşamasında edinilen bilgilerde Türkiye’de önceden var olan müteahhitler (yükleniciler) birliği odasının tekrar kurulmasının faydalı olup olmayacağı sorulmuştur. % 70 oranında böyle bir birliğin kurulması gerektiğini söylemiştir. Tablo 1’ de görüldüğü gibi “Balıkesir’deki yüklenicilerin birbirleriyle olan ilişkileri yeterli midir?”, sorusuna ankete katılanların verdiği cevaplara göre yarısından fazlası evet cevabı vermiştir. Görüşülen yüklenicilere “sizce yabancı dil yeterince bilinmeli mi? sorusunun cevabı küçük ve orta ölçekli yüklenici firmaları olmaları sebebiyle Balıkesir dışında veya içinde büyük çaplı çok fazla iş yapmamalarından dolayı “hayır” cevabı veren katılımcıların bu oranı % 50’ dir. Ayrıca İSG (iş sağlığı ve güvenliği) önlemlerinin alınmasının kurumsal baskının yanı sıra inşaat sektörü paydaşlarından olan yüklenicilerin sosyo-kültürel yapılarının bir parçası olması önemlidir. Bu nedenle

yüklenicilerin sosyo-kültürel yapısını incelemeye yönelik bu çalışmada katılımcılara “yüklenicilerin yeteri kadar İSG önlemleri aldığını düşünüyor musunuz?” sorusu yöneltilmiş, bulgular % 82 oranında İSG önlemlerinin alındığını göstermektedir.

5.1.2. Katılımcıların Sosyo-kültürel yapıları ile demografik özellikleri arasındaki ilişki
Katılımcıların sosyo-kültürel yapılarını ölçmeye yönelik sorular ile demografik yapıları arasındaki ilişki tablo 2’ de verilmiştir. Çalışma kapsamında ikiden fazla grupların (yaş, eğitim, baba mesleği) bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin analizi için ANOVA analizi kullanılmıştır. Bulgular; yaş ile S6 (basılı veya online yayın takip ediyor) ($p \leq 0,05$); S7 (kent ve kentleşme ile ilgili kitap/eser okuyor) ($p \leq 0,05$) değişkenleri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca eğitim ile S8 (kent, kentleşme ile ilgili süreli yayın takip ediyor) ($p \leq 0,05$); S9 (ticaret odası dışında bir kuruluşa üyeliği bulunuyor) ($p \leq 0,001$), S11 (Balıkesir’de bir yükleniciler birliği olması gerektiğine düşünüyor) ($p \leq 0,05$) ve S13 (yüklenicilerin yeterince yabancı dil bilmesi gerekir) ($p \leq 0,001$) anlamlı ilişki bulunmaktadır. Baba mesleği ile S3 (kabiliyetine uygun bir işte çalışıyor) ($p \leq 0,001$) ve S5 (yükleniciliğin yeterli birikimi olan herkesin yapabileceği bir meslek olduğunu düşünüyor) ($p \leq 0,001$) arasındaki ilişki anlamlı ilişki bulguları arasındadır.

Tablo 1. Katılımcıların sosyo-kültürel yapılarını ölçmeye yönelik ifadeler

SORULAR		Evet		Hayır	
		Sıklık	Yüzde	Sıklık	Yüzde
S1	Ailede kendi dışınızda halen yüklenicilik faaliyetinde bulunan var	15	%37.5	25	%62.5
S2	Balıkesir dışında başka bir ilde yüklenicilik faaliyetinde bulunuyor	14	%35	26	%65
S3	Kabiliyetine uygun bir işte çalışıyor	38	%93	2	%7
S4	Emeğinin karşılığını aldığına inanıyor	28	%70	12	%30
S5	Yükleniciliğin yeterli birikimi olan herkesin yapabileceği bir meslek olduğunu düşünüyor	11	%27.5	29	%72.5
S6	Basılı veya online yayın takip ediyor	31	%77.5	9	%22.5
S7	Kent ve kentleşme ile ilgili okuduğu bir kitap/eser okuyor	9	%22.5	31	%77.5
S8	Kent, kentleşme ile ilgili süreli yayın takip ediyor	7	%17.5	33	%82.5
S9	Ticaret odası dışında bir kuruluşa üyeliği bulunuyor	21	%52.5	19	%47.5
S10	Balıkesir halkı yüklenicilere güveniyor	31	%77.5	9	%22.5
S11	Balıkesir’de bir yükleniciler birliği olması gerektiğine düşünüyor	28	%70	12	%30
S12	Aynı bölgede iş yapan yüklenicilerin birbirleriyle olan ilişkileri yeterlidir	21	%52.5	19	%47.5
S13	Yüklenicilerin yeterince yabancı dil bilmesi gerekir	20	%50	20	%50
S14	Yükleniciler yeteri kadar İSG önlemi alıyorlar	33	%82	7	%18

Tablo 2. Katılımcıların sosyo-kültürel yapıları ile demografik özellikleri arasındaki ilişki.

SORULAR	Yaş (Sig.)	Eğitim (Sig.)	Baba Mesleği (Sig.)
S1	0,787	0,720	0,371
S2	0,482	0,864	0,643
S3	0,068	0,621	0,001
S4	0,664	0,622	0,826
S5	0,893	0,424	0,015
S6	0,013	0,489	0,867
S7	0,005	0,117	0,457
S8	0,096	0,042	0,566
S9	0,364	0,000	0,087
S10	0,106	0,742	0,056
S11	0,757	0,046	0,505
S12	0,205	0,601	0,647
S13	0,779	0,005	0,647
S14	0,328	0,205	0,194

p***≤0,001, p**≤0,01, p*≤0,05

6. Sonuçlar

İnşaat sektörü yaşadığımız ekonomik dalgalanmaya karşın ayakta durabilmektedir. Türk İnşaat Firmaları ENR [9]' nin raporuna göre en iyi 250 firma arasına bu yıl 45 firma ile girmişlerdir. Ülkemizde bazı şehirlerin göç alması ile artan nüfusun barınmasına yönelik konut talebi, şehirde yaşayanların ihtiyaçları doğrultusunda yapılan yatırımlar; yol, köprü, tünel, eğlence merkezi vb. yüklenicilik mesleğini hızla yükselterek sektörün popüler paydaşı haline getirmiştir [1,8]. Ayrıca Balıkesir'de yerel yönetimlerin aldığı imar değişiklik kararları, kentsel dönüşümünün desteklenmesi ve getirdiği kazanımlar, Balıkesir'li olup ta başka illerde yaşayanların aidiyet duygusu ile emekli olunca dönerim düşünceleri doğrultusunda konut talebi, ilin coğrafi konumu, kıyı ilçelerinin varlığı, tarımsal anlamda üretkenlik sektörün paydaşları olan yüklenicilerin sayısını artırmıştır. 2018 yılı verilerine göre Balıkesir Ticaret Odası'na kayıtlı konut / inşaat alanında çalışan üye sayısı 572 dir. Bu üyelerden yaklaşık 60'ı yap-sat konut sektöründedir [11]. Aldığımız örnekleme'deki 40 kişi tamamıyla bu şekilde faaliyet gösterenlerdir. Örnekleme'deki kişiler ile yapılan anket ve mülakat, sosyo-kültürel yapılarını ortaya koyabilmek içindir. Katılımcıların sosyo-kültürel yapıları ile demografik özellikleri (yaş, eğitim, baba mesleği) arasındaki ilişki ANOVA analizi ile ortaya koyulmuştur. Yaş ile “basılı veya online yayın takip ediyor” ve “kent ve kentleşme ile ilgili okuduğu kitap/eser bulunuyor” değişkenleri arasındaki anlamlı ilişki; genç yüklenicilerin bu tür yayınları takip etme durumunun daha fazla olabileceği ve güncel gelişmelere ilgilerinin olduğu şeklinde yorumlanabilir. Eğitim ile, “kent ve kentleşme ile ilgili süreli yayın takip ediyor” ve “Ticaret Odası dışında bir kuruluşa üyeliği bulunuyor” değişkenleri arasındaki ilişki; eğitim seviyesinin yükselmesi mesleki süreli yayın takibinin ve oda ve benzeri kuruluşlara üyeliklerinin sosyo-kültürel seviyenin artması şeklinde düşünülebilir. Ayrıca; eğitim ile, “Balıkesir'de bir yükleniciler birliği olması gerektiğini düşünüyor” ve “yüklenicilerin yeterince yabancı dil bilmesi gerekir” değişkenleri arasındaki ilişki, grubun bir birlik çatısı altında daha güçlü ve kaliteli olabileceği düşünülebilir. Baba mesleği ile, “kabiliyetine uygun bir işte çalışıyor” ve “yükleniciliğin yeterli birikimi olan herkesin yapabileceği bir meslek olduğunu düşünüyor” değişkenleri arasındaki ilişki; baba mesleğini hazır iş olarak

devam ettirmeleri, kurulu bir düzene dahil olmalarının avantajlarını kullanmak istemeleri yönünde bir seçim olabilir. Elde edilen sonuçlar ışığında sosyo-kültürel yapılarındaki zenginliği ve almış oldukları teknik eğitimi mesleklerine aktararak icra edenler olduğu gibi, hiçbir eğitim almadan sadece maddi birikimleri ile faaliyet gösteren kişilerde mevcuttur. Ancak; yükleniciliği herkes yapabilir mi? sorusunun cevabının % 72,5 hayır olması sevindiricidir. Anket değerlendirmesinde; yüklenicilerin çoğunun Balıkesir doğumlu olduğunu görüyoruz. Bu yüklenicilerin orta ölçekli işler yapmaları, yabancı firmalar ile çalışmamaları neticesinde dil konusunda herhangi bir ilgilerinin olmadığı ortaya çıkmıştır. Balıkesir ili genelinde faaliyette olan yükleniciler sosyo kültürel yapıları doğrultusunda elde ettikleri kazanımları olumlu ve olumsuz şekilde sektöre yansıtmaktadırlar. Çalışma bu anlamda elde edilen sonuçların ortaya koyulması açısından değerlidir. İl merkezi ile sınırlı bu çalışmanın Ülke genelinde farklı değişkenler için geliştirilmesi yapılabilir. Bununla birlikte Türkiye Müteahhitler (Yükleniciler) Birliği kapsamında, sosyo-kültürel yapıları, düzenlenecek mesleki eğitimler ile güçlendirilerek mesleğini seven, değer veren, saygı duyan, okuyan, mesleki gelişmeleri takip eden ve daha optimist bireylerin sektörde söz sahibi olması bir kazanım olabilir. Ne yazık ki; inşaat sektöründe görev yapan yükleniciler ile ilgili herhangi bir mesleki yeterlilik kriteri olmayışı sosyo-kültürel açıdan da bir olumsuzluktur. Mesleki yeterlilik adı altında yapılacak yasal düzenlemeler teknik eğitim ve sosyo-kültürel alanda yüklenicilik mesleği pratiklerini icra edenlere değer katacaktır.

Kaynaklar

- [1] Birgönül, M.T., Dikmen, I., Özorhon B., Işık Z., İnşaat sektörünün yapım yönetim eğitiminden beklentileri **Üçüncü Yapı İşletmesi Kongresi**, Bildiriler Kitabı, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir, 29-30 Eylül 2005, 169-178, (2005).
- [2] Kuruoğlu, M., Arslan, M., Türk İnşaat Sektöründe Proje Yöneticileri için Bilgi ve Becerilerin Değerlendirilmesi, **IV. Mimarlık Mühendislik Sempozyumu**, Haziran 2002, Balıkesir, (2002).
- [3] Jahoda, G., **Crossroads between culture and mind: Continuities and change in theories of human nature**, New York, Harvester Wheatsheaf. (1992)
- [4] Akıner, İ., Esin, N., Giritli, H., Türk inşaat endüstrisinde iş değerleriyle ilgili kültürel profil, **İTÜ Dergisi Seri A: Mimarlık, Planlama, Tasarım**, 4(2), 47-58, (2005).
- [5] Karyelioğlu S., Türkiye’de İnşaat Sektörünün Gelişimi Bağlamında Trabzon’da Müteahhitliğin Sosyokültürel Temelleri, **Karadeniz İncelemeleri Dergisi**, 19, 207-240, (2015).
- [6] Tekeli, İ., İlkin, S., Uluslararası İnşaat sözleşmesi modeli olarak FIDIC inşaat işleri sözleşme şartları, **Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 20, 1-2, (1993).
- [7] KMPG, Sektörel Bakış-İnşaat, (2018).
- [8] İNTES, İnşaat sektörü raporu, Mayıs 2018, (2018).
- [9] ENR, **Engineering News Records** . <https://www.enr.com/toplists/2018-Top-250-International-Contractors-1>, erişim tarihi: 05.10.2018
- [10] <https://www.mynet.com/balikesir/hakkinda> : erişim tarihi: 06.10.2018
- [11] Balıkesir Ticaret Odası web sayfası: <https://www.bato.org.tr>: erişim tarihi: 06.10.2018

Numerical analysis of single rammed aggregate piers installed in stratified soil profiles

Zülal AKBAY ARAMA*

Istanbul University-Cerrahpasa, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Avcılar Campus, Istanbul

*Geliş Tarihi (Received Date): 27.03.2019
Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.12.2019*

Abstract

In this study, Rammed Aggregate Pier systems are analyzed according to the numerical analysis that are performed by two dimensional commercial finite element analysis software. The focus point of the paper is to identify the effects of pier dimensions, stratification of foundation soil profile and load applying levels on the deformation behavior of interacted rammed aggregate pier-surrounding soil system at the installation stage. Interpretations of the parametrical analyses are focused on the deformation change via loading levels. The relative displacement occurrence between pier and soil matrix is also checked.

Keywords: *Rammed aggregate pier, soil stratification, finite element analysis, pier installation, dimension effect.*

Tabakalanmış zemin profillerinde inşa edilen tekil kırmataş kolonların sayısal analizi

Öz

Bu çalışmada, Darbeli Kırmataş Kolon sistemlerinin sayısal analizi iki boyutlu ticari bir sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın odak noktası; kazık boyutlarının, temel tabakalanma özelliklerinin ve kazık yükleme seviyesinin, inşa sırasında ve sonrasında etkileşimli kazık-semin sistemi içerisinde meydana gelen deformasyon davranışı üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Uygulanan parametrik analizlerin sonuçları düşey deformasyonların yükleme seviyesine bağlı değişimi olarak

* Zülal AKBAY ARAMA, zakbay@istanbul.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-8185-7329>

incelenmiştir. Kazık ve zemin arasında meydana gelen rölatif deplasmanlar da ayrıca kontrol edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Darbeli kırmataş kolon, tabakalanmış zemin, sonlu elemanlar analizi, kazık inşası, boyut etkisi.*

1. Giriş

Selection of the appropriate structure and foundation supporting system for satisfying the envisaged construction requirements is still a basic problem in civil engineering applications. It is difficult to take into consideration both super and sub-structures action and reactions related to the complexity of multiple material usage and interacted behavior characteristics such as bearing capacity, short and long term settlement performance, seismic load effect and cost control. Heavy, high rise and large scaled structures like skyscrapers, embankments, storage tanks, bridges, wind turbines, earth walls and solar panels are some of the types of various important and frequently applied structures in the urbanization scheme. Due to the land limitation in the urban areas; landslide fields and soft soils that are characterized with their low bearing capacity and high deformability potential are used as foundation soils for these structures. In such situations shallow foundations are inadequate for bearing the loads of superstructure. Various stabilization techniques have been developed to overcome the bearing capacity and deformation problems of these kinds of weak soils under predicted structural loads. Fundamental concepts of soil stabilization such as drainage, densification, and reinforcement, cementation, drying and also heating were advanced hundred years ago. Even though the main principles of soil improvement are unchanged since the early years, the practices are changing with time owing due to the development of new materials, industry and technologies. Over the past century, soil stabilization techniques have mainly concentrated upon the development of new methods which benefits from vibratory methods for densification of granular materials, grouting materials and new concepts of soil improvement [1]. Selection and development of the appropriate type of stabilization technique is also depended on expected improvement ratio associated with the geometrical dimensions and structural load characteristics of superstructure and soil type, material properties, drainage conditions and stratification status of foundation. In this paper, an actual model of mechanical improvement technique called as Rammed Aggregate Pier (RAP) system is evaluated for soil stabilization purpose by performing different loading levels with multivariate parametric analyses done via finite element method in two dimensional space. Rammed aggregate pier systems have been used as an intermediate foundation system between conventional shallow footings and deep foundations for reducing intolerable settlements, increasing capacity of bearing, slope stabilization, uplift enhancement and liquefaction mitigation [2, 3, 4, 5, 6]. RAP construction is conceptually similar with compacted gravel column [7] but required special installation equipment. Piers can be constructed by various applications, such as replacement, displacement, vibrodisplacement, vibroreplacement and tamped methods [8]. The unique construction process of pier installation contains drilling an open hole to a desired depth (Fig. 1 (a)) or driving the pier directly to the soil media, replacing the weak soil with dense strong aggregate material (Fig. 1 (b)) or filling the hole with the same dense strong aggregate material. In the first stage, the bottom bulb is formed (Fig. 1 (c)) by vertically ramming strong aggregate using an impact hammer equipment (Fig. 1 (d)) with a specially designed high energy beveled tamper [9]. The RAP construction

is followed by filling (Fig. 1 (e)) and ramming more thick stages of aggregate over the bottom bulb (Fig. 1 (f)) and compacting the material with the beveled tamper (Fig. 1 (g)). Energy of the tamper is applied to aggregates by a repeated impact process with frequencies range from 300 to 600 cpm [10]. Within the iterative ramming process compacted aggregate squeezed the matrix soil surrounded drilling cavity and forced the soil to move downward and outward. Horizontal stresses of matrix soil is increased due to the sensitivity of the soil medium and loading magnitude [3, 4]. Therefore this cycle contributes an increase of the soil stiffness and strength [11]. Taking into account the expected behavior characteristics of RAP installation and construction process, it can be said that the interaction between RAP element and surrounded soil matrix generated a complex phenomenon. Several experimental studies are conducted and numerical analyses are performed with different solution techniques to overcome the obscurity of these interacted system [6, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

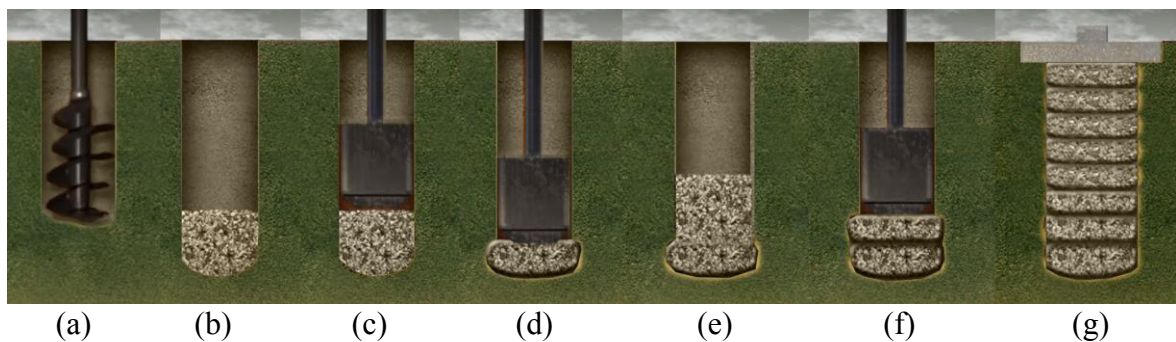


Figure 1. The construction sequence of rammed aggregate piers.

Although rammed aggregate piers are generally installed in groups, the behavior of the whole interactive system depends on investigations of individual pier behavior. The influential parameters of mono pier installation, construction and sustainable usage terms are mainly evaluated from previous investigators. By the way it can be summarized that the fundamental factors effective on the behavior that are determined in studies are installation sequence, materials of foundation - pier and geometric characteristics of the whole system. In this paper, it is aimed to discover the importance of foundation soil stratification on the behavior of mono pier with fictionalizing arbitrarily identified pier dimensions and pier loading levels. Stratified foundation profiles are obtained by defining a crust layer above soft clayey medium with different thicknesses. Pier installation is modelled with two dimensional numerical analysis and compressive load application procedures are simulated by finite element based commercial numerical analysis program Plaxis 2D.V2019. In addition to these, pier dimensions such as radius and length are investigated for analyzing the dimension effects of pier behavior. Interpretations of the parametrical results are focused on the deformation and stress characteristics of the interactive pier elements and adjacent soil matrix to make authors fully equipped for utilizing group pier behavior under the influence of different stratification characteristics of foundation soils. The relative displacement occurrence between pier and soil matrix is also checked and evaluations are obtained according to the stiffness of used material characteristics.

2. Numerical modeling of Rammed Aggregate Piers

In this paper, the performance of 27 different cases that are arranged according to the dimensions of single rammed aggregate piers is investigated by simulating axisymmetric finite element models with Plaxis 2D.V2019 under axial loading conditions. The pier diameter is selected 0.50, 0.80 and 1.0 meters and the length of pier is selected 2.0, 3.0 and 6.0 meters (Figure 2) respectively. In addition to this, three different foundation stratification profiles are fictionalized by utilizing the material properties that is used for the studies of White et al. (2002, 2003) under the influence of pier loading tests [21, 22]. The first profile of foundation soil consists of pure alluvial formation (SP1), the second and third foundation profile consists of a two layer matrix (Figure 2). Second profile includes a 1.0 meter thick crust layer at the surface of the ground (SP2) and in the third profile the crust thickness rises to 2.0 meters (SP3) and followed by alluvial material for both (Figure 2). In order to simplify the definition of variable cases some abbreviations are done. Pier length change is symbolized by using P letter and 1, 2, 3 numbers define 2, 3 and 6 meters length of piers respectively. Similarly the change of pier diameter is represented by D letter and 1, 2, 3 numbers define 0.50, 0.80 and 1.0 meters pier diameter respectively.

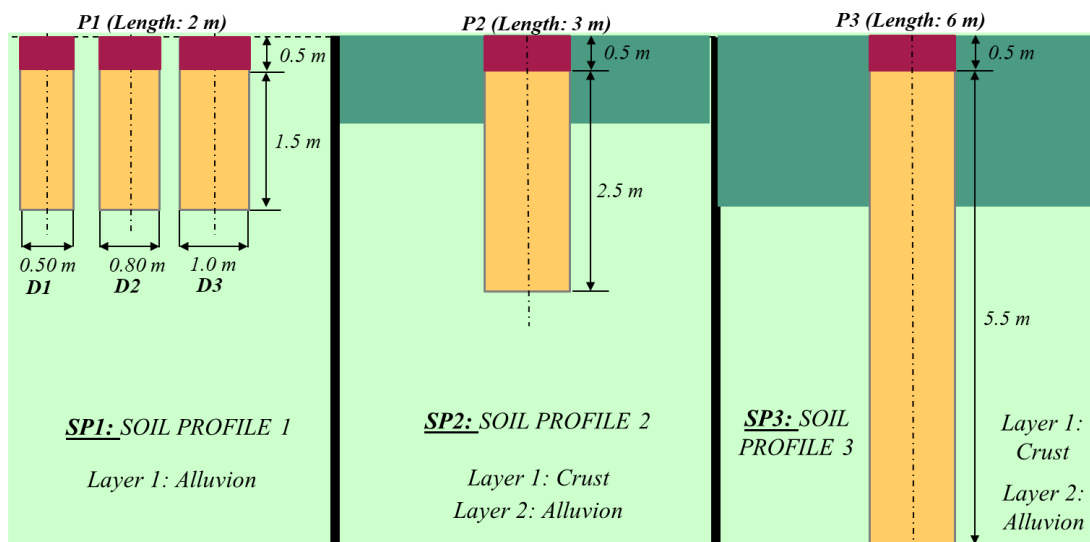


Figure 2. Pier and foundation soil characteristics used in numerical analyses.

It is aimed to throw light on the importance of foundation stratification to the response of pier-surrounding soil interaction under vertical loading conditions. Rammed aggregate piers and foundation soils are modelled with using Hardening Soil constitutive material model in numerical analysis. Material stiffness properties of hardening soil model include; the confining stress dependent secant modulus for primary deviator loading (E_{50}), the modulus for primary isotropic compression (E_{oed}) and the elastic unloading-reloading parameters (E_{ur} , ν_{ur}) and material strength properties are described in terms of effective stresses (c' , ϕ'). The mentioned stress dependency amount is defined by the power parameter m . The stiffness and strength properties of piers and surrounding soil is given in Table 1. A rigid 0.50 meter thick cap at the top of the pier is modelled with linear elastic characteristics as a non-porous material. Perfectly rough condition is assumed throughout the interface between piers and surrounding foundation soil. Therefore the strength reduction ratio of the interface

elements are entered 1.0 value. The pier construction process is modelled with four main phases by using plastic drained conditions. The implementation process is began with making a cavity with drilling along the shaft (Figure 3-1). For modelling pier ramming action, prescribed displacement application to skin and top of the pier is envisaged at the second phase (Figure 3-2). The observations that are acquired by the application of numerical analyses or the field investigations have shown that the prescribed displacements defined at the top of the pier occur two times bigger than the displacements occur at horizontal direction through the pier shaft and the value of the displacements at the shaft of the pier results in %5 of nominal diameter of the cavity [18, 23].

Table 1. Geotechnical properties of foundation soil and pier [21].

Type of Material	Alluvion	Crust	Aggregate
ϕ' (°)	24	35	47
c'	2	2	4
ψ (°)	0	0	12
γ (kN/m ³)	19.24	19.24	21.00
E_{50ref} (kPa)	3000	9000	61000
E_{oedref} (kPa)	1500	4500	61000
E_{urref} (kPa)	9000	27000	1220000
m	1	1	0.48
ν_{ur}	0.2	0.2	0.2
p_{ref}	25.5	25.5	34.5
R_f	0.96	0.96	0.88
$K_{0,NC}$	0.59	0.43	0.27
e_{ini}	1	1	1
σ_{ten} (kPa)	0	0	0

From this point of view, prescribed displacements which are defined at the top of the pier is taken two times bigger than the horizontal direction prescribed displacements and the value is taken %10 of nominal diameter of the cavity for all cases that are identified. The third phase consists of the replacement of pier properties with improved material properties (Figure 3-3) and the test loads are applied incrementally at the vertical direction in the last phase (Figure 3-4).

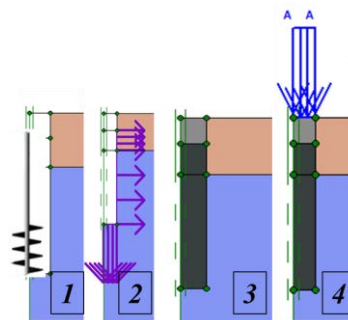


Figure 3. Phases of pier installation.

A selected reference model is calibrated with the field studies of White et al. (2002) for the verification of modelling phases [21]. The physical boundaries of the model is extended throughout the depth and width not to effect the distribution of stresses. Axial

rollers are modelled along the symmetry axes of the system and full fixity condition is constituted for all other boundaries. For the simulation of long term usage conditions after the installation process, the expansion of the cavity is modelled drained with the use of effective stress parameters. Analysis results are evaluated in terms of deformations which are transferred from finite element software by a written excel macro code to exhibit more understandable illustration of the dimension and stratification effect on the behavior of pier. Deformation values are obtained from the points that are located at the vertical symmetry axes of pier (within the pier as called pier element and abbreviated PE) and the points that are situated on the tangent vertical axes of pier-surrounding soil interface (within the soil as called soil element and abbreviated SE). The locations and abbreviations of reference displacement measurement data points are given in Figure 4. Totally 108 data points are examined and these mentioned data points are available for all foundation soil stratifications and for all pier geometries. It is aimed to find relative displacement change between pier and surrounding soil matrix by using the selected data points. In Figure 4 the increase of consecutive number values defines the increasing depth throughout the foundation profile for all types of piers.

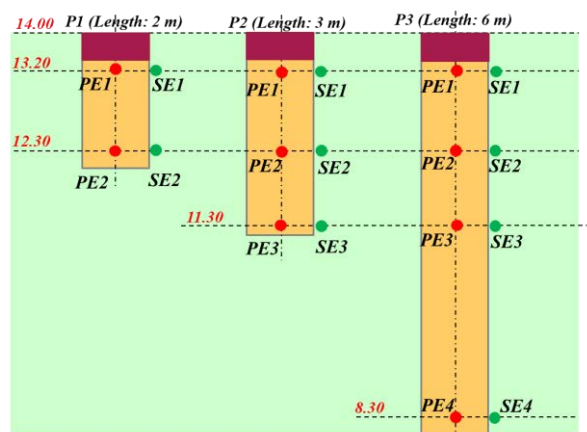


Figure 4. Deformation measurement points.

The loading program of mono pier is also given in Figure 5. The loading sequence is modelled by using staged construction technique and incremental load values are only applied in vertical direction to the cap of the pier as a distributed uniform load.

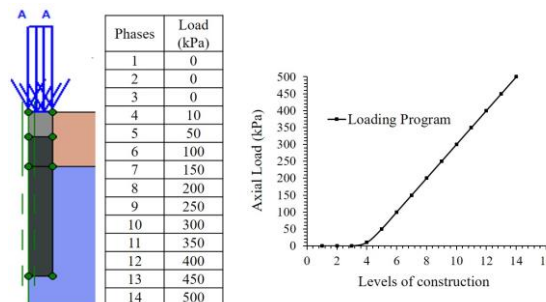


Figure 5. The loading program of mono pier.

3. Numerical analysis of Rammed Aggregate Piers

Numerical analyses are conducted for all the fictionalized cases of pier installation and the results are denominated via load increment-vertical displacement curves between Figures 5-15. The effects of rammed aggregate pier length and diameter and foundation stratification on the installation process of the mono system is explained using the identified pier and soil elements that are located in different coordinates. By the way, pier and soil deformations at the same horizontal plane which are occurred during the installation sequence can be observed. The analysis results are taken from 108 different points therefore vertical displacement change via loading levels can be defined by remarkable amount of graphs and different combination of data's. Selection of specific cases which describes the significant characteristics of interacted rammed aggregate pier-surrounding soil system eases to understand and interpret the main behavior of whole influenced structure with different pile dimensions and foundation soil profiles. Therefore in this study, selected significant cases are evaluated not to cause informational convergence.

3.1. Data point location effect

Rammed aggregate piers are special soil improvement structures that are constructed by soil based materials. This property causes piers to behave more flexible than bored concrete or reinforced concrete piles. In addition to this, during the installation of piers the ramming actions changes alignment of pier materials and squeezes pier matrix elements in a limited area with gaining a new strength value. This condition of flexibility and strength increase of pier made it necessary to investigate the internal behaviour of piers and soil matrix both. The relative displacement between pier and soil matrix under the applied loads, generates a soil resistance throughout the interaction plane of associated system. In field applications, tell-tale plates are applied while the construction of pier to control the deformation behaviour of pier elements and extensometers and inclinometers are placed into the foundation soil to control the deformations of surrounded soil matrix. Beside this, in numerical analysis it is possible to evaluate the displacements inside the pier for all phases of installation and during the loading procedure of pier. By the way it may be possible to analyse the modes of deformations that is composed under different load levels subjected to the relative displacements of pier and soil.

In this study, the relative vertical displacements between pier and soil matrix are investigated according to the chosen data points with the analyses of fictionalized cases. In general manner, the analyses results shows that the vertical displacement of pier elements are bigger than soil element displacements for the first pier in all soil profile conditions and all defined pier geometries at the near points of pier cap. But this condition changes at the points near the base of pier. Soil displacements become bigger than piers' at the tip. A different situation occurs for relatively small pier diameters for the piers which are embedded in soil profile 2. The soil displacements exceed pier displacements. The existence of crust layer in the soil profile leads to decrease the relativity degree of displacements throughout the foundation soil layer. Relative displacement change via loading level is illustrated in Figure 6 in order to clarify the effects of mentioned comparative evaluations. Figure 6a and Figure 6d represents the relative change of vertical displacements according to vertical loading increments for homogenous alluvial soil profile. The uniform distributed load is applied from pile cap and data analysis are evaluated for the pier element 1 & soil element 1 (PE1-SE1) and

pier element 2 & soil element 2 (PE2) respectively. The displacements are decreased at the deeper points inside pile section. Maximum values of relative displacement occur at the first loading levels. Figure 6b and 6e represents the change of relative displacements of soil and pier elements for soil profile 2 and Figure 6c and 6f shows the change of relative displacements of soil and pier elements for soil profile 3. The degree of relative displacement change according to the rise of crust layer thickness causes to decrease relativity. Homogenous soil profile exhibits deformable characteristics than other profiles of analyses as expected. Minimum relative deformation difference is obtained at the tip points of selected pier embedded in the profiles that are including crust.

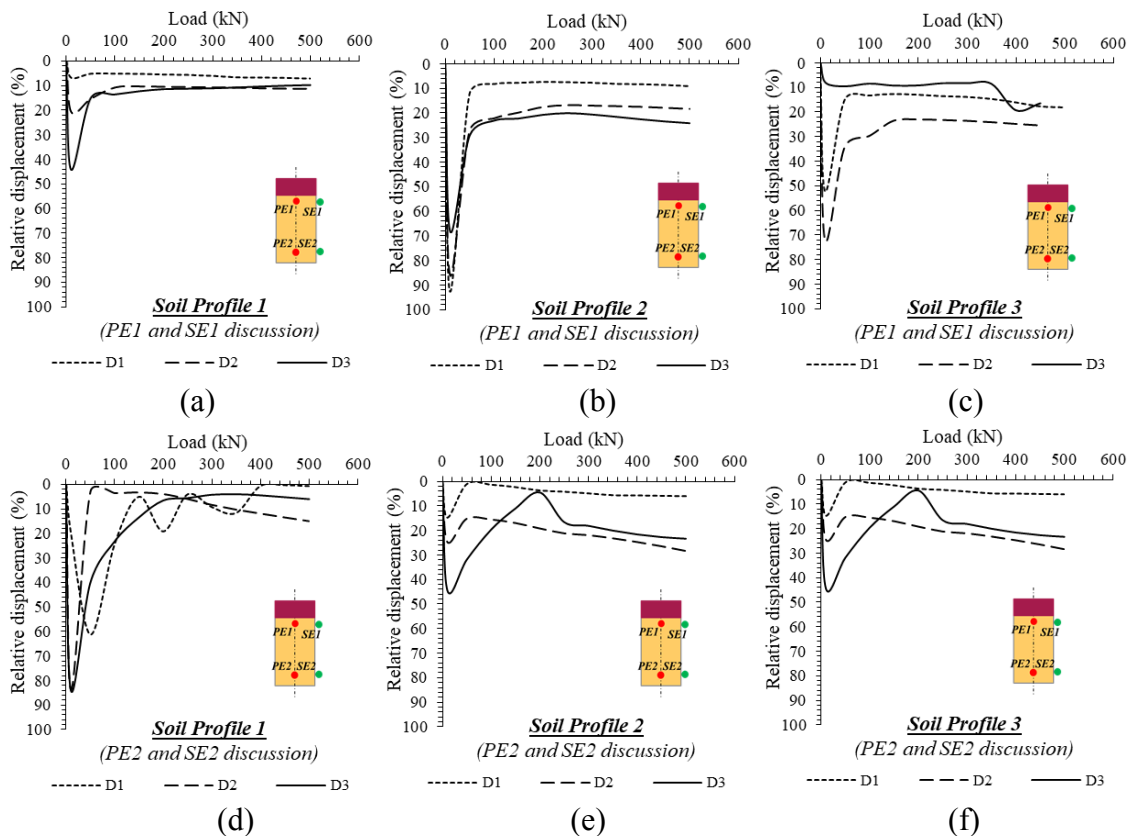


Figure 6. Relative displacement via loading level.

Vertical displacement change according to the load increment is given in Figure 7 for the first pier (P1) embedded in soil profile 1 (SP1). Figure 7a illustrates the displacement change of pier element 1 (PE1) via different diameters of pier. Figure 7b shows the displacement change of pier element 2 (PE2) via different diameters of pier. The vertical axes of the charts are fixed at the same maximum values for simplifying comparison. The increase of the data point depth leads to decrease vertical displacements in all loading levels. The decrease amount of vertical displacements is nearly one third of each other. Figure 8a and 8b represents the vertical displacement change of soil elements 1 and 2 respectively. The vertical axes of the chart is fixed at the same deformation value as the graphs of Figure 7. The deformations exhibited same manner as Figure 7 and decreases along the depth. The difference between soil and pier elements is relatively small for soil profile 1 (SP1)-pier 1 (P1) than other fictionalized cases of analyses.

In order to clarify the effects of pier length to the data points, another case is illustrated by Figure 9 and 10. Pier elements 1-2-3 and soil elements 1-2-3 is addressed in Figure 9

and 10 respectively. The case is modelled for pier 2 (P2) embedded in soil profile 3 (SP3). Generally, pier displacements are bigger than soil element displacements in all loading levels. The decrease of pier diameter decreases the relative change of displacements of pier and soil elements. The relative displacement change for elements 2 and 3 is very smaller than first elements of pier and soil.

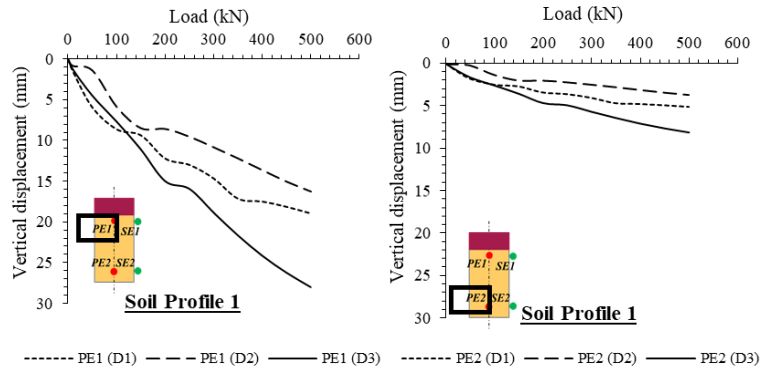


Figure 7. Vertical displacement change via loading level for Pier 1 in Soil Profile 1 according to the data point condition (PE1-PE2).

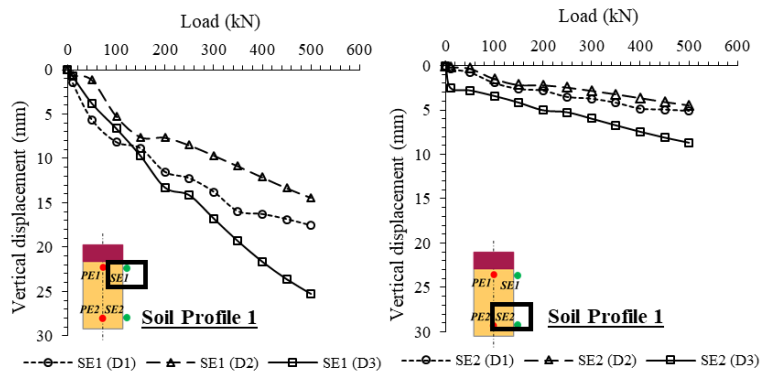


Figure 8. Vertical displacement change via loading level for Pier 1 in Soil Profile 1 according to the data point condition (SE1-SE2).

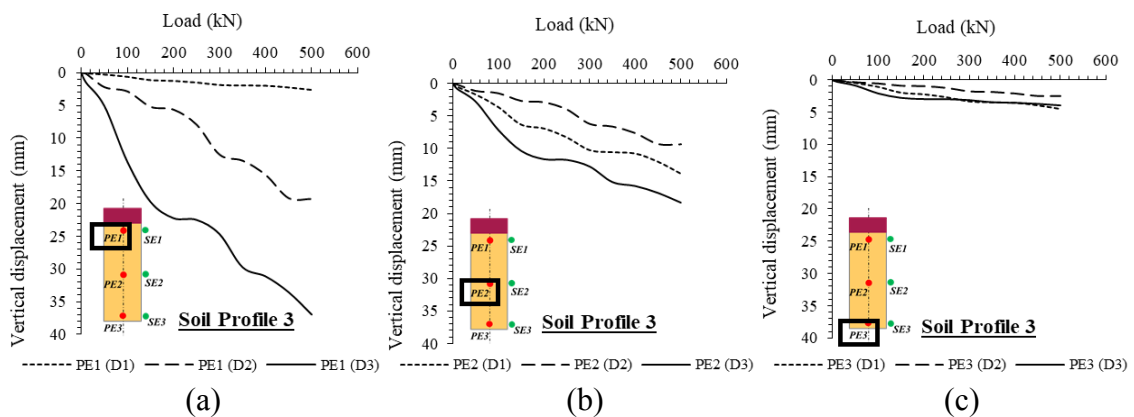


Figure 9. Vertical displacement change via loading level for Pier 2 in Soil Profile 3 according to the data point condition (PE1-PE2-PE3).

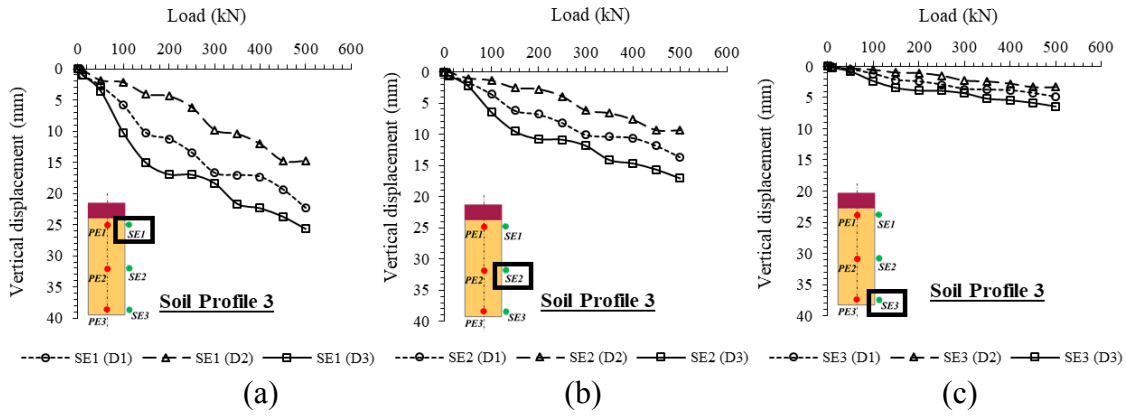


Figure 10. Vertical displacement change via loading level for Pier 2 in Soil Profile 3 according to the data point condition (SE1-SE2-SE3).

3.2. Pier diameter effect

In Figure 11 vertical displacement change via loading level according to the pier diameters is given respectively for pier 1, 2 and 3 when they are embedded in soil profile 3 (SP3). The tip points of piers are used as data points for the evaluation. Soil profile 3 consists of 2 meter crust layer above alluvial soil medium. Therefore for pier 1 (P1) the pier is fully embedded in crust layer. The rise of pier diameter causes to deform crust layer bigger than other cases but at the other cases (P2 and P3) deformation levels remain as the same at the pier tip. But it is remarkable that the pier which has 0.8 meters diameter exhibits less deformable characteristics than other cases.

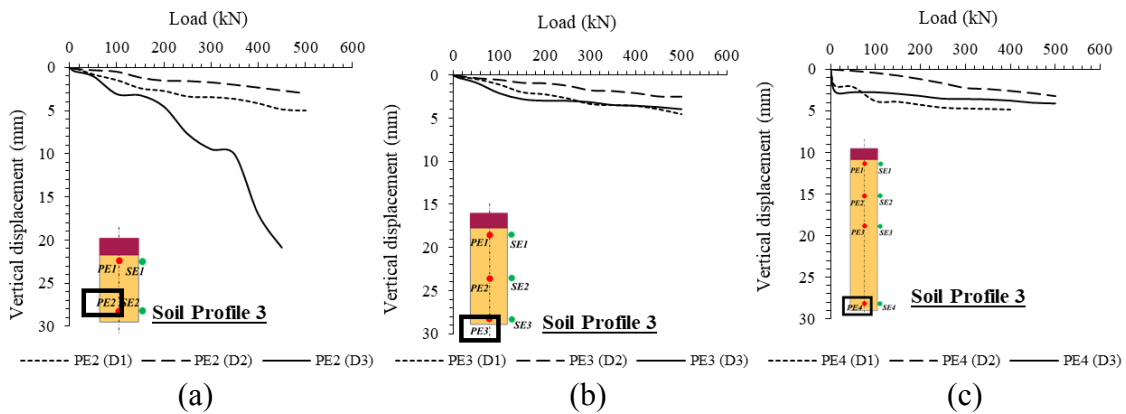


Figure 11. Vertical displacement change via loading level according to the pier diameter change for pier elements.

Vertical displacement change via loading levels according to pier length and diameter is given in Figure 12 for the soil elements located at the tip of pier. The only contrarian case is evaluated for pier 1 (P1), soil element 1 (SE1). The other amounts of displacements remain the same for cases and the increment of pier diameter leads deformations to rise instead of the pier that has 0.8 meters diameter.

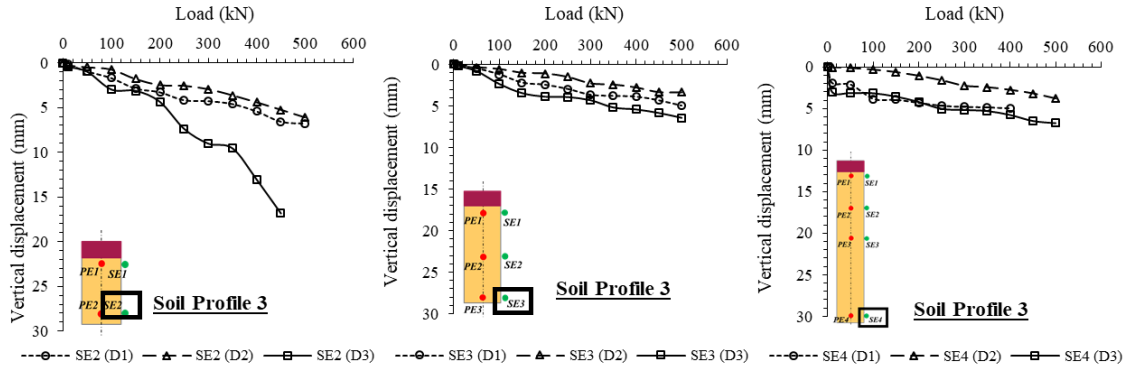


Figure 12. Vertical displacement change via loading level according to the pier diameter change for soil elements.

3.3. Pier length effect

In Figure 13, pier 1-2 and 3 are presented respectively with their resultant displacements for the pier diameter 0.5 (D1) meters in the soil profile 1 (SP1). Data points are marked on the illustrations for the selected cases. Pier displacements are increased according to the increasing length of pier for pier elements in both cases shown in Figure 13a and 13b. The increase amount is decreased with the increment of embedment depth. Figure 14 shows the effects of pier length according to the soil element displacements. Similar manner is evaluated for pier and soil elements for the case of increasing pier length.

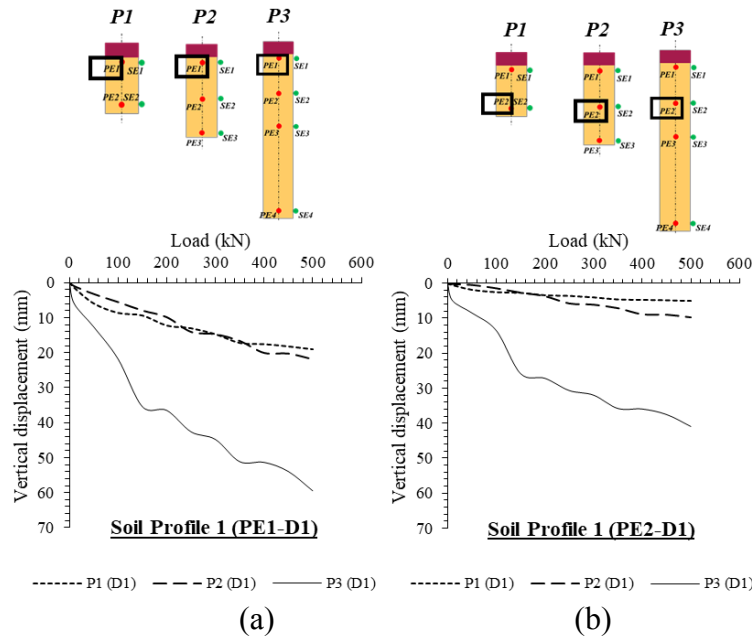


Figure 12. Vertical displacement change via loading level according to the pier length change for pier elements.

3.4. Foundation soil stratification effect

In Figure 15, vertical displacement change according to the loading levels are given with respect to the change of soil profile. Figure 15a, 15b, 15c represents pier element 1 (PE1), 15d, 15e, 15f represents pier element 4 (PE4) for soil profile 1 (SP1), soil profile 2 (SP2) and soil profile 3 (SP3) respectively.

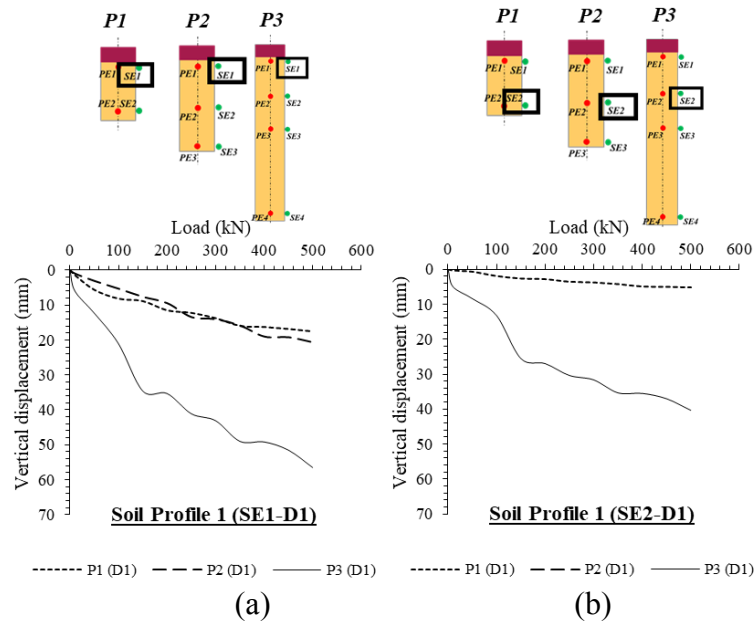


Figure 14. Vertical displacement change via loading level according to the pier length change for soil elements.

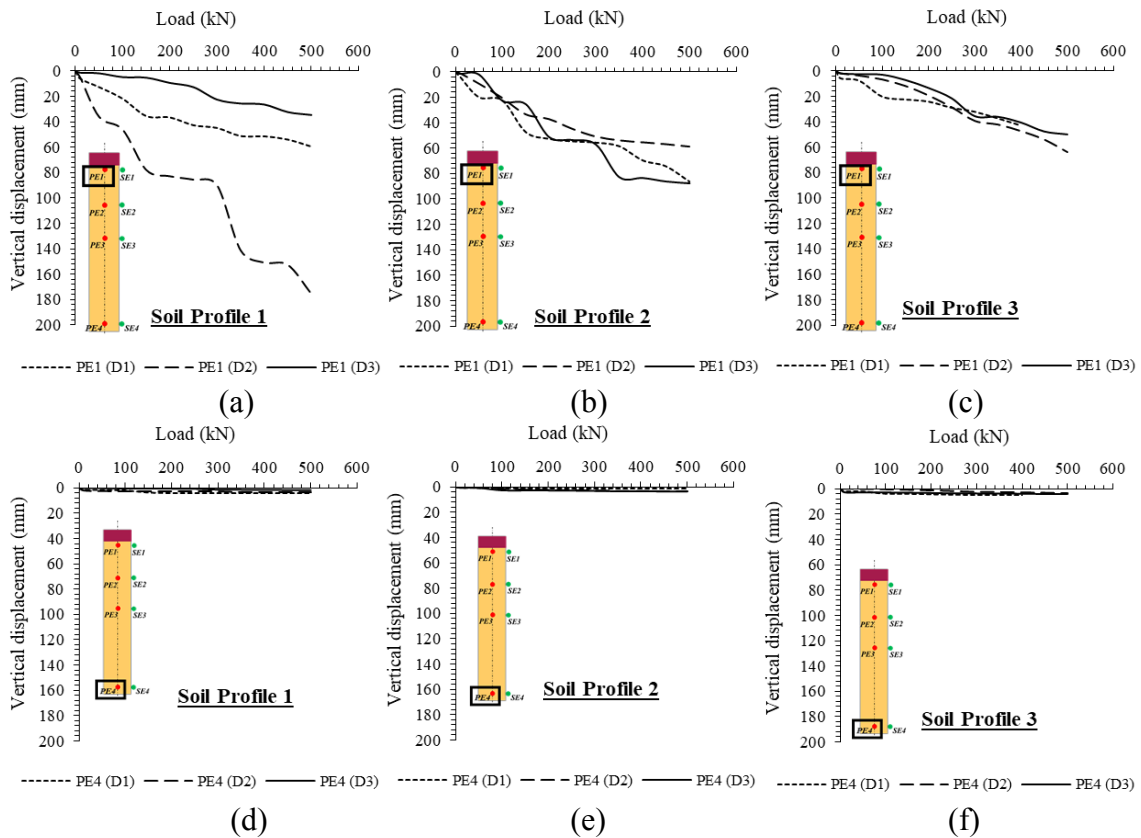


Figure 15. Vertical displacement change via loading level according to the pier length change for soil elements.

Figure 16 shows the displacement-loading level change with respect to soil elements of same case as Figure 15. Relatively bigger displacements are occurred at homogenous soil profile at the data point PE1. Thickness of crust layer effects deformation occurrence mostly for the case of 0.8 meters diameter and the rise of crust thickness

causes pier to decrease displacements half of the displacements occurred in homogenous soil profile. The deformations are decreased at the data point PE4 as the same level for all evaluated cases. Figure 16 shows the same manner as Figure 15 but the degree of deformations are much bigger than the deformations evaluated at the soil element located at the tip of the pier-soil interface.

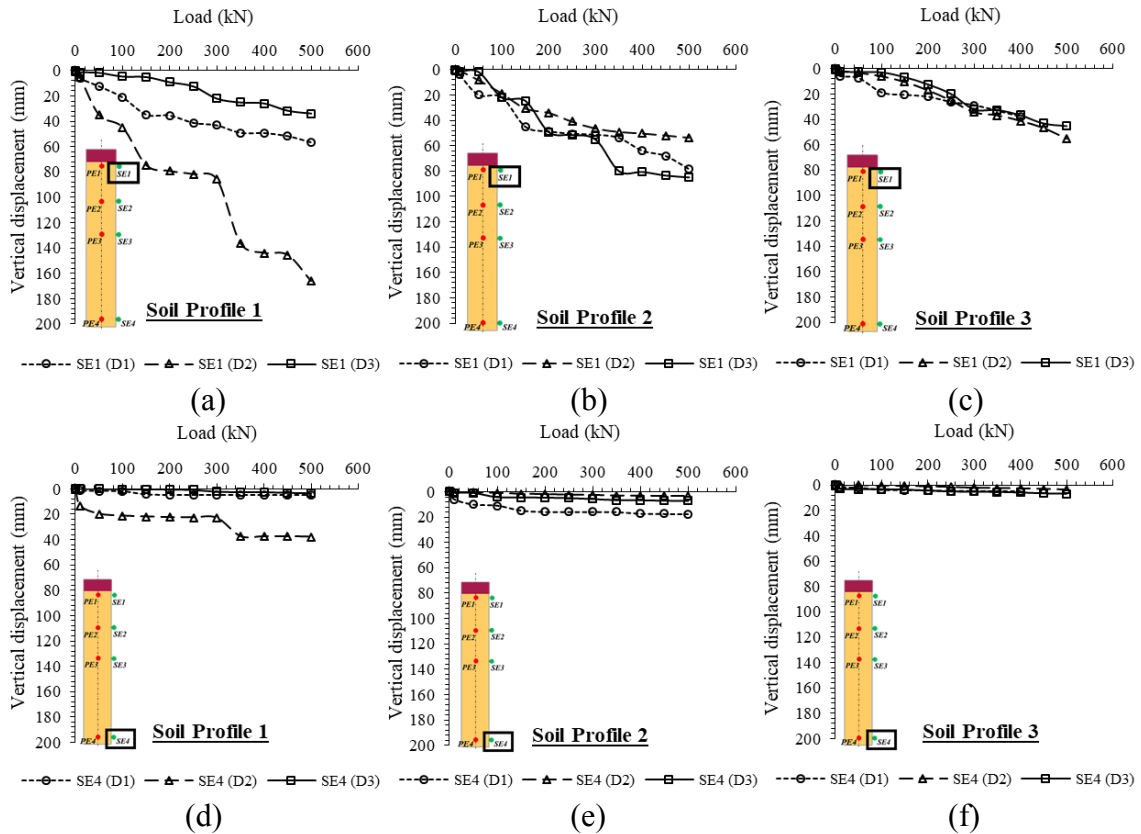


Figure 16. Vertical displacement change via loading level according to the pier length change for soil elements.

3. Evaluations and results

In this paper, numerical analyses are conducted in order to clarify the effects of soil stratification on the behavior of piers that has variable geometrical characteristics. Numerical analysis are illustrated in the previous section with respect to vertical displacement change via loading levels. The case of building rammed aggregate piers is quite different from installing traditionally drilled in situ concrete, reinforced concrete piles or stone columns. The ramming process generates excessive deformations and stresses inside the pier and also inside the soil matrix adjacent to pier. The increment of the loading magnitude in the application procedures of the tests causes to increase the deformations in the pier and in the soil both.

Numerical analyses results show that the main factor affecting relative displacement of pier and surrounding soil matrix is the pre-stressing of soil medium during the installation process. Relative displacement-loading level curves are shown that the bigger relative displacement occurrence is evaluated at the first stages of installation and at the top of the pier.

The results of the analyses are shown that the deformations can be occurred with different modes subjected to compressive loads according to their degrees and soil conditions in relation with pier dimensions. The type of deformation can be identified by the evaluation of load-settlement charts. Tip movement and bulging is the most common types of deformations encountered in the fictionalized pier construction applications. Vertical displacement-loading level curves are shown that the type of tip movement can be seen in the cases that the length of pier is shorter than others (P1 and P2). For longer pile length (P3) bulging is dominant type of deformation. It can be seen by the comparison of top pier element settlement with top soil element settlements. Bulging type of deformation occurred when the difference of top element settlements of pier and soil is increased with the rise of loading level.

Increasing depth of data points in pier or in soil matrix leads to decrease evaluated displacement values as expected. The relative difference between the selected points displacements are raised according to the increase in pier length. The raise of vertical distance between data points increases the difference between consisted displacements.

It is found that the increase of pier diameter inspires decrement of the displacements at the same points in the pier but above a limited diameter value the displacements are increased. This situation maintains validity for the pier length. Because of these opposite behavior it is very important to check diameter and length values in the field. It will be appropriate to use optimization algorithms to find the optimal design.

The change of foundation stratification influences the whole behavior with the interaction takes common place for the thickness of crust layer and length of pier. The presence of crust layer significantly affected resultant deformations independently of the thickness of crust for the selected soil profiles and applied cases.

References

- [1] Mitchell, J.K., Soil improvement-State-of-the-Art, **Proceedings of 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, ICSMFE, Stockholm, June, 4, 509 565, (1982).
- [2] Lawton, E.C. and Fox, N. S., Settlement of Structures Supported on Marginal Old Inadequate Soils Stiffened with Short Aggregate Piers', In-situ Deep Soil Improvement, **Proc. ASCE National Convention**, Atlanta, Georgia, 121-132, (1994).
- [3] Lawton, E.C., Fox, N.S. ve Handy, R.L., Control of Settlement and Uplift of Structures Using Short Aggregate Piers , In-situ Deep Soil Improvement, **Proc. ASCE National Convention**, Atlanta, Georgia, 121–132, (1994).
- [4] Wissmann, K.J., Meser, K. Ve Pando, M., Reducing Settlement Risk in Residual Piedmond Soil Using Rammed Aggregate Pier elements, **Proceeding ASCE Specialty Conference**, Blacksburg, (2001).
- [5] Farrell, T. ve Taylor, A., Rammed Aggregate Pier Design and Construction in California-Performans, **Constructability and Economics**, SEAOC 2004 Convention Proceeding, California, (2004).

- [6] White, D. J., Pham, H. T. V., and Hoevelkamp, K. K., Support mechanisms of rammed aggregate piers. I: Experimental results, **J. Geotech. Geoenviron. Eng.**, 133 (12), 1503-1511, (2007).
- [7] Kumar, P. and Ranjan, G., Granular pile system for uplifting loads – A case study., **Proc. of the International Conference on Offshore and Nearshore Geotechnical Engineering**. 427-432, (1999).
- [8] Stuedlein, A. W. and Holtz, R. D., Bearing Capacity of Spread Footings on Aggregate Pier Reinforced Clay, **J. Geotech. Geoenviron. Eng.**, 139 (1), 49-58, (2013).
- [9] Halabian AM, Naeemifar I, Hashemolohosseini SH., Numerical analysis of vertically loaded rammed aggregate piers and pier groups, **Ground Improvement Journal**, (2015).
- [10] Lien, B. H., Fox, N., and Kwonk, H., Geopier Floating Foundations, A Solution For Roadway Embankments Over Soft Soils in Asia, presented at the 2nd World Engineering Congress, Kuching, Malaysia, July 22–25, Universiti Putra Malaysia Press, Malaysia, 22–25, (2002).
- [11] Handy, R. L., Does Lateral Stress Really Influence Settlement, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 127, (7), 623–626, (2001).
- [12] Thompson, M. J., Wissmann, K. J., and Pham, H. T., Performance Monitoring of a Rammed Aggregate Pier Foundation Supporting a Mechanically Stabilized Earth Wall, **J. Perform. Constr. Facilities**, 23, (4), 244–250, (2009).
- [13] Handy, R. and White, D. J., Stress Zones Near Displacement Piers: I. Plastic and Liquefied Behavior, **J. Geotech. Geoenviron. Eng.**, 132 (1), 54-62, (2006a).
- [14] Handy, R. and White, D. J., Stress Zones Near Displacement Piers: II. Radial Cracking and Wedging, **J. Geotech. Geoenviron. Eng.**, 132(1), 63-71, (2006b).
- [15] White, D. J., Lawton, E. C., and Pitt, J. M., Lateral Earth Pressure Induced by Rammed Aggregate Pier, presented at the 53rd Annual Canadian Geotechnical Conference, Montreal, Canada, October 15–18, 2, 871-876, (2000).
- [16] Handy, R. L., Fox, N. S., and Wissmann, K. J., Short aggregate piers reinforce soils near tunnels. **Proc., Geo-Engineering for Underground Facilities**, Geotechnical Special Publication No. 90, ASCE, Reston, Va., 1039–1047, (1999).
- [17] Halabian, A. M. and Shamsabadi, P. J., Numerical Modeling of the RAP Construction Process and Its Effects on RAP Behavior, **Int. J. Geomech.**, 15 (5), (2014).
- [18] Chen J, Han J, Oztoprak S, Yang Y., Behavior of single rammed aggregate piers considering installation effects. **Journal of Computers and Geotechnics**, 36:1191–9, (2009).
- [19] Pham, T. V., White, D. J., Support mechanisms of rammed aggregate piers, I: experimental results, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 133(12):1503-11, (2007).
- [20] Pham, H. T., Suleiman, M. T., and White, D. J., Numerical Analysis of Geosynthetic Rammed Aggregate Pier Supported Embankments, **Geotechnical Engineering for Transportation Projects**, M. K. Yegian and E. Kavazanjian, ASCE, Reston, VA, 657–664, (2004).
- [21] White, D. J., Wissmann K. J., Barnes A. G. and Gaul A. J., Embankment Support: A Comparison of Stone Column and Rammed Aggregate Pier Soil Reinforcement, Presented at Transportation Research Board, 81st Annual Meeting, Washington, D.C., January 13-17, (2002).

- [22] White, D. J., Gaul, A. J., and Hoevelkamp, K., Highway applications for rammed aggregate pier in Iowa soils., Final Rep., DOTTR-443, Ames, Iowa, (2003).
- [23] Pham, H.T., Support Mechanism of Rammed Aggregate Piers, A dissertation submitted to the graduate faculty in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Iowa State University, Ames, Iowa, (2005).

Identity graphs of finite cyclic groups

Nazmiye Feyza YALÇIN^{1,*}, Yakup KIRĞIL²

¹Harran University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Şanlıurfa, Turkey

²Harran University, Institute of Science, Şanlıurfa, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 27.03.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.10.2019

Abstract

In this paper, identity graphs of finite cyclic groups are considered. The identity graphs of finite cyclic groups are examined regarding to the subset of self-inverse elements and the subset of mutual inverse elements in a group. By using the features of these subsets the number of triangles and the number of edges in the identity graphs of finite cyclic groups are determined. Furthermore, Schultz, Gutman, first Zagreb, second Zagreb and Wiener indices are computed for identity graphs.

Keywords: Graph, identity graph, cyclic group, topological index.

Sonlu devirli grupların birim grafları

Öz

Bu çalışmada sonlu devirli grupların birim grafları göz önüne alınmıştır. Sonlu devirli grupların birim grafları grupta tersi kendisi olan elemanların alt kümesi ve tersi kendisinden farklı elemanların alt kümesi ile ilişkili olarak incelenmiştir. Bu alt kümelerin özellikleri kullanılarak sonlu devirli grupların birim graflarındaki üçgen sayısı ve kenar sayısı belirlenmiştir. Ayrıca birim grafların Schultz, Gutman, birinci Zagreb, ikinci Zagreb ve Wiener indeksleri hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Graf, birim graf, devirli grup, topolojik indeks.

* Nazmiye Feyza YALÇIN, fyalcin@harran.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5705-8658>

Yakup KIRĞIL, yakupkircil10@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2300-0498>

1. Introduction

In recent years, graph theory and its applications associated to algebraic structures are studied extensively (see [1,2-7]). In [7], Kandasamy and Smarandache defined identity graphs of groups and semigroups and examined some special subgraphs. Let G be a group and $x, y \in G$, x is adjacent to y if and only if $xy = e$, where e is the identity element of G . Further, it is assumed that every element of G is adjacent to e . If x is adjacent to y , it is denoted by $x \sim y$ or $x - y$. By this adjacency, all elements of the group take place in the forming graph is called the identity graph of the group G and denoted by $G_I(G)$. Thus all the elements of a group can be represented by a graph. From the adjacency definition, all of self-inverse and mutual inverse elements of a group can be seen directly from the identity graph of a group.

Let $G = (V(G), E(G))$ be a simple graph, where $V(G)$ is the set of all vertices called vertex set and $E(G)$ is the set of all edges which join the vertices called edge set. In a graph degree of a vertex u is the number of edges incident to u and denoted by $deg u$. If there is a path between any two distinct vertices of a graph, then the graph is called connected. The shortest path connecting the vertices u and v is called distance between u and v , denoted by $d(u, v)$. The diameter of a graph G is the greatest distance between any pair of vertices, i.e. $diam(G) = \max \{d(u, v) : u, v \in V(G)\}$. The girth of a simple graph G is the length of a smallest cycle and denoted by $gir(G)$.

Topological indices are graph invariants that are mostly based on the distances between the vertices of a graph and independent from labeling and visual representation of graphs. Let $G = (V(G), E(G))$ be a simple connected finite graph. In [4], degree distance of a graph G is defined as

$$D'(G) = \sum_{v \in V(G)} deg v \cdot D_G(v),$$

where $D_G(v) = \sum_{u \in V(G)} d(u, v)$ is called distance of a vertex v in G . Degree distance of a graph renamed as "Schultz index" which is proposed by Gutman in [6]. Schultz index can be also expressed as

$$D'(G) = \sum_{\{u,v\} \subseteq V(G)} [deg u + deg v] d(u, v).$$

Schultz index of the second kind is introduced in [6] and called as Gutman index. It is defined as

$$Gut(G) = \sum_{\{u,v\} \subseteq V(G)} [deg u \cdot deg v] d(u, v).$$

First Zagreb and second Zagreb indices of a graph G are introduced by Gutman and Trinajstić in [5] and defined respectively as

$$M_1(G) = \sum_{u \in V(G)} (deg u)^2,$$

$$M_2(G) = \sum_{uv \in E(G)} deg u \cdot deg v.$$

One of the oldest distance-based topological index is Wiener index which is equal to the sum of distances between all unordered pairs of vertices of a graph G and defined in [8] as

$$W(G) = \sum_{\{u,v\} \in V(G)} d(u,v)$$

Schultz index also can be considered as degree-weighted version of the Wiener index.

2. Preliminaries

In this section some required definitions and theorems are presented. Moreover some explicit results are given for the identity graphs of finite cyclic groups.

2.1. Definition

Let $(G,*)$ be a finite group with the identity element e and $a \in G$. If $a = a^{-1}$, then $a \in G$ is called *self-inverse element* of G . All of the self-inverse elements of G is denoted by $S(G)$.

2.2. Definition ([3])

Let $(G,*)$ be a finite group with the identity element e and $a \in G$. If there exists $b \in G$ such that $a * b = b * a = e$, then $a \in G$ is called *mutual inverse element* of G . All of these elements of G is denoted by $M(G)$.

According to the above definitions, $S(G)$ and $M(G)$ can be expressed as follows.

$$\begin{aligned} S(G) &= \{a \in G: a = a^{-1}\}, \\ M(G) &= \{a \in G: a \neq a^{-1}\}. \end{aligned}$$

For a finite group G , obviously we have $G = S(G) \cup M(G)$ and $S(G) \cap M(G) = \emptyset$.

2.1. Theorem ([3])

If G be a finite cyclic group, then

$$|S(G)| = \begin{cases} 1, & \text{if } |G| \text{ is odd} \\ 2, & \text{if } |G| \text{ is even} \end{cases}$$

where $| \cdot |$ denotes the cardinality of $S(G)$.

2.1. Corollary ([3])

If G be a finite group of even order, then $|S(G)|$ and $|M(G)|$ are both even order.

2.1. Remark ([3])

If G is not a cyclic group, then $|S(G)| \geq 2$ (p.129, Ex.1-2).

2.2. Corollary ([3])

If G be a finite group of odd order, then $|S(G)| = 1$ and $|M(G)| = |G| - 1$.

2.2. Remark

Let $G = \langle a \rangle$ be a cyclic group of order n and $k \in Z$. If $a^k \in M(G)$, then obviously we have $n \nmid 2k$ and if $a^k \in S(G)$, then $n \mid 2k$.

Kandasamy and Smarandache in [7], determine the number of triangles in identity graphs of finite cyclic groups in the following theorems.

2.2. Theorem ([7])

If $G = \langle a \rangle$ be a cyclic group of order p , where p is a prime, then $G_I(G)$ is formed by only $\frac{p-1}{2}$ triangles.

2.3. Corollary

Let n is an odd number. If $G = \langle a \rangle$ be a cyclic group of order n , then $G_I(G)$ is formed by only $\frac{n-1}{2}$ triangles.

According to the Corollary 2.3, since degree of an any vertex is even in the identity graph of finite group of odd order, we can give the following result.

2.4. Corollary

If G is a cyclic group of odd order, then $G_I(G)$ is Eulerian.

2.3. Theorem ([7])

Let n is an even number. If $G = \langle a \rangle$ be a cyclic group of order n , then $G_I(G)$ is formed by $\frac{n-1}{2}$ triangles and a line.

2.5. Corollary

If G is a cyclic group of even order, then $G_I(G)$ is not Eulerian.

2.6. Corollary

If G be a finite cyclic group, then $gir(G_I(G)) = 3$.

Proof.

The girth of a simple graph is the length of a smallest cycle. Since $G_I(G)$ has always formed by triangles (3-cycle), we have $gir(G_I(G)) = 3$.

The main purpose of this paper is to examine some properties and computing some topological indices of the identity graphs of finite cyclic groups by using the features of $S(G)$, the subset of self-inverse elements and $M(G)$, the subset of mutual inverse elements.

3. Main results

In this section, initially we express some fundamental properties of the identity graphs of finite cyclic groups by using the cardinality of the disjoint sets $S(G)$ and $M(G)$. Moreover, we compute Schultz, Gutman, first Zagreb, second Zagreb and Wiener index of the identity graphs of a finite cyclic groups.

Let G be a cyclic group of order n with identity e and consider $G_I(G)$, the identity graph of G . Obviously we have $V(G_I(G)) = G$ and from the adjacency of the identity graph, we have $deg(e) = n - 1$.

3.1. Theorem

Let G be a finite group. Then $G_I(G)$ is a connected graph.

Proof.

The proof is obvious from the adjacency of the identity graph $G_I(G)$.

3.2. Theorem

Let $G = \langle a \rangle$ be a cyclic group of even order. If $u \in S(G) \setminus \{e\}$, then we have $deg u = 1$.

Proof.

If $|G|$ is even, then from Theorem 2.1, $|S(G)| = 2$ and we have $S(G) = \{e, a: a^2 = e\}$. So, if $u \in S(G) \setminus \{e\}$, then u is only adjacent to e and u is a pendant vertex. Thus proof is completed.

Recall that the number of triangles are given in [7]. Now we give a brief proof by using the cardinality of $M(G)$.

3.3. Theorem

Let G be a finite cyclic group. If $u \in M(G)$, then $deg(u) = 2$ and $t = \frac{|M(G)|}{2}$, where t is the number of triangles in the identity graph $G_I(G)$.

Proof.

If $u \in M(G)$, then $u \neq u^{-1}$ and from the adjacency, we have $u \sim u^{-1}$, $u \sim e$ and $u^{-1} \sim e$. Thus, $deg(u) = 2$. For any $u \in M(G)$, each $\{u, u^{-1}\}$ pair of vertices forms a triangle in $G_I(G)$. So, there are $t = \frac{|M(G)|}{2}$ triangles in $G_I(G)$ and proof is completed.

3.1. Corollary

Let G be a cyclic group of order n and t be the number of triangles in the identity graph $G_I(G)$. Then we have

$$t = \begin{cases} \frac{n-1}{2}, & \text{if } n \text{ is odd} \\ \frac{n-2}{2}, & \text{if } n \text{ is even} \end{cases}$$

Proof.

The proof can be seen directly by Theorem 3.3, Corollary 2.1 and Corollary 2.2.

3.1. Example

Let $G = \langle a \rangle$ be a cyclic group of order 7 and $H = \langle b \rangle$ be a cyclic group of order 8. Then $M(G) = \{a, a^2, a^3, a^4, a^5, a^6\}$, $S(G) = \{e\}$ and $M(H) = \{b, b^2, b^3, b^5, b^6, b^7\}$, $S(H) = \{e, b^4\}$. The identity graphs of the groups G and H are given respectively in Fig. 1. From Fig. 1, each $\{u, u^{-1}\}$ pair of vertices of mutual inverse elements of the group forms a triangle and if the order of the group is an even integer, then self-inverse elements of the group form a line in the identity graph.

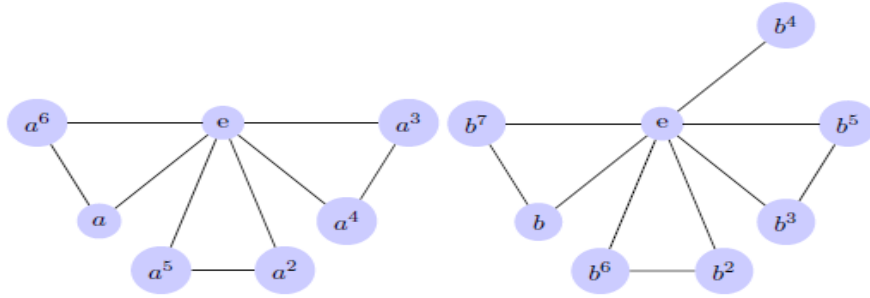


Figure 1. $G_I(G)$ and $G_I(H)$ identity graphs of the cyclic groups G and H .

3.4. Theorem

If G be a cyclic group of order n , then we have

$$|E(G_I(G))| = \begin{cases} \frac{3(n-1)}{2}, & \text{if } n \text{ is odd} \\ \frac{3(n-2)}{2} + 1, & \text{if } n \text{ is even} \end{cases}$$

Proof.

Let $|G| = n$ is even, then from Theorem 2.1, we have $|S(G)| = 2$, so $|M(G)| = n - 2$. For $e \in S(G)$ and $u \in S(G) \setminus \{e\}$, obviously we get $deg(e) = n - 1$ and $deg(u) = 1$. Thus we have $deg(e) + deg(u) = n$. Since the other $n - 2$ vertices different from e and u in the identity graph $G_I(G)$ belong to $M(G)$ and for any $v \in M(G)$, $deg(v) = 2$, we have

$$\sum_{a \in G} deg a = n + 2(n - 2) = 3n - 4 = 2|E(G_I(G))|.$$

Thus, proof is complete. If we consider that $|M(G)| = n - 2$, we can also write $|E(G_I(G))| = 3t + 1$. For n is an odd integer, the proof can be seen similarly.

3.5. Theorem

If $G = \langle a \rangle$ be a cyclic group of order n , then $diam(G_I(G)) < 3$.

Proof.

If $n = 2$, then we have $S(G) = \{e, a : a^2 = e\}$ and $M(G) = \emptyset$. From adjacency of the identity graph, $G_I(G)$ is exactly formed by a line $e - a$. So, $diam(G_I(G)) = 1$. If $n = 3$, then from Theorem 2.2 $G_I(G)$ is exactly a triangle. Thus $diam(G_I(G)) = 1$. Let $n > 3$. If n is even, then we have $S(G) = \{e, a : a^2 = e\}$, $|M(G)| = n - 2$ and from Theorem 2.3, $G_I(G)$ is formed by $\frac{n-1}{2}$ triangles and a line $a - e$. If $b \in M(G)$, since $a \in S(G) \setminus \{e\}$, there is always a shortest $a - e - b$ path of length 2, we have $diam(G_I(G)) = 2$. If $b, c \in M(G)$ and $b \sim c$, then $d(b, c) = 1$. If $b \not\sim c$, namely b is not adjacent to c , then there is always a shortest $b - e - c$ path of length 2. Thus $diam(G_I(G)) = 2$. If n is odd, we have $S(G) = \{e\}$ and $|M(G)| = n - 1$ by Corollary 2.2. From Corollary 2.3, $G_I(G)$ is formed by only triangles. Let $b, c \in M(G)$ are in different triangles, then there is always a shortest $b - e - c$ path of length 2. So, we have $diam(G_I(G)) = 2$ and proof is completed.

3.6. Theorem

Let G be a cyclic group of order n . Schultz index of $G_I(G)$ is

$$D'(G_I(G)) = \begin{cases} 5n^2 - 14n + 9, & \text{if } n \text{ is odd} \\ 5n^2 - 16n + 14, & \text{if } n \text{ is even} \end{cases}$$

Proof.

We consider two cases for proof as follows.

Case 1. Let n is odd. Then from Corollary 2.2, we have $S(G) = \{e\}$ and $|M(G)| = n - 1$. Thus Schultz index of $G_I(G)$ is

$$\begin{aligned} D'(G_I(G)) &= \sum_{\{u,v\} \subseteq V(G)} [deg_u + deg_v]d(u,v) \\ &= \sum_{u \sim e; u \in M(G)} [deg_u + dege].1 + \sum_{u \sim u^{-1}; u \in M(G)} [deg_u + deg(u^{-1})].1 \\ &+ \sum_{u \neq v; u,v \in M(G)} [deg_u + deg_v].2. \end{aligned} \tag{1}$$

Since $|M(G)| = n - 1$ and any vertex in $M(G)$ is adjacent to e , contribution of the first sum is $(n - 1)(2 + (n - 1))$. Consider the second sum. If $u, u^{-1} \in M(G)$, then we get $deg_u = deg(u^{-1}) = 2$ and $u \sim u^{-1}$, $u \sim e$ and $u^{-1} \sim e$. Therefore contribution of the second sum is $4t$, where t is the number of triangles, that is $2(n - 1)$ from Corollary 3.1. In the last sum, we require the number of paths of length 2. Obviously, the number of paths of length 1 is the number of edges, that is $\frac{3(n-1)}{2}$. If we consider the distance matrix of a graph with n vertices, the number of entries above the main diagonal is $\frac{n^2-n}{2}$. Therefore the number of paths of length 2 is

$$\begin{aligned} \frac{n^2 - n}{2} - |E(G_I(G))| &= \frac{n^2 - n}{2} - \frac{3(n - 1)}{2} \\ &= \frac{(n - 1)(n - 3)}{2}. \end{aligned}$$

If we write these contributions in (1), we have

$$\begin{aligned} D'(G_I(G)) &= (n - 1)(n + 1) + 2(n - 1) + 8 \cdot \frac{(n-1)(n-3)}{2} \\ &= (n - 1)(5n - 9) \\ &= 5n^2 - 14n + 9. \end{aligned}$$

Case 2. Let n is even. Then by Theorem 2.1, we have $|S(G)| = 2$ and $|M(G)| = n - 2$. So, we get

$$\begin{aligned} D'(G_I(G)) &= \sum_{\{u,v\} \subseteq V(G)} [deg_u + deg_v]d(u,v) \\ &= \sum_{u \sim e; u \in M(G)} [deg_u + dege].1 + \sum_{u \sim e; u \in S(G) \setminus \{e\}} [deg_u + dege].1 \\ &+ \sum_{u \sim u^{-1}; u \in M(G)} [deg_u + deg(u^{-1})].1 \\ &+ \sum_{u \in M(G); v \in S(G) \setminus \{e\}} [deg_u + deg_v].2 + \sum_{u \neq v; u,v \in M(G)} [deg_u + deg_v].2. \end{aligned} \tag{2}$$

Similar to the Case 1, contribution of the first three sum is

$$(n - 2)(n + 1) + n + 4 \left(\frac{n - 2}{2} \right). \quad (3)$$

Consider the sum $\sum_{u \in M(G); v \in S(G) \setminus \{e\}} [degu + degv]$. Obviously we have $degu = 2$ and $degv = 1$. Since $v \in S(G) \setminus \{e\}$ is only adjacent to e , v is not adjacent to any vertex of $M(G)$. Thus the distance from the vertex v to $n - 2$ vertices of $M(G)$ is 2 and so, the number of paths of length 2 is $n - 2$. Similar to the Case 1, the total number of paths of length 2 is

$$\begin{aligned} \frac{n^2 - n}{2} - |E(G_I(G))| &= \frac{n^2 - n}{2} - \left[\frac{3(n - 2)}{2} + 1 \right] \\ &= \frac{(n - 2)^2}{2}. \end{aligned}$$

Now, consider the sum $\sum_{u \rightarrow v; u, v \in M(G)} [degu + degv]$. For $u, v \in M(G)$, the number of paths of length 2 is

$$\frac{(n - 2)^2}{2} - (n - 2) = \frac{(n - 2)(n - 4)}{2}.$$

If we substitute the values in (2) and by (3), we have

$$\begin{aligned} D'(G_I(G)) &= (n - 2)(n + 1) + n + 4 \frac{(n - 2)}{2} + 6(n - 2) + 8 \frac{(n - 2)(n - 4)}{2} \\ &= (n - 2)(5n - 7) + n \\ &= 5n^2 - 16n + 14. \end{aligned}$$

So, proof is complete.

3.7. Theorem

If G be a cyclic group of order n , then the first Zagreb index of $G_I(G)$ is

$$M_1(G_I(G)) = \begin{cases} n^2 + 2n - 3, & \text{if } n \text{ is odd} \\ n^2 + 2n - 6, & \text{if } n \text{ is even} \end{cases}$$

Proof.

Let n is even. Then $|S(G)| = 2$ and $|M(G)| = n - 2$. The first Zagreb index of $G_I(G)$ is

$$\begin{aligned} M_1(G_I(G)) &= \sum_{u \in G} (degu)^2 \\ &= \sum_{u \in S(G)} (degu)^2 + \sum_{u \in M(G)} (degu)^2 \\ &= 1 + (dege)^2 + 4|M(G)| \\ &= 1 + (n - 1)^2 + 4(n - 2) \\ &= n^2 + 2n - 6, \end{aligned}$$

which completes proof. Proof can be seen similarly when n is an odd integer.

3.8. Theorem

If G be a cyclic group of order n , then the second Zagreb index of $G_I(G)$ is

$$M_2(G_I(G)) = \begin{cases} 2n^2 - 2n, & \text{if } n \text{ is odd} \\ 2n^2 - 3n - 1, & \text{if } n \text{ is even} \end{cases}$$

Proof.

If n is an even integer, then the second Zagreb index of $G_I(G)$ is

$$\begin{aligned} M_2(G_I(G)) &= \sum_{uv \in E(G)} \text{deg}u. \text{deg}v \\ &= \sum_{u \sim e; u \in M(G)} \text{deg}u. \text{dege} + \sum_{u \sim e; u \in S(G) \setminus \{e\}} \text{deg}u. \text{dege} \\ &+ \sum_{u \sim u^{-1}; u \in M(G)} [\text{deg}u. \text{deg}(u^{-1})]. 1 \\ &= 2(n-2)(n-1) + (n-1) + 4t \\ &= 2(n-2)(n-1) + (n-1) + 2(n-2) \\ &= 2n^2 - 3n - 1. \end{aligned}$$

Thus proof is completed.

3.9. Theorem

If G be a cyclic group of order n , then we have

$$W(G_I(G)) = \begin{cases} \frac{2n^2 - 5n + 3}{2}, & \text{if } n \text{ is odd} \\ \frac{2n^2 - 5n + 4}{2}, & \text{if } n \text{ is even} \end{cases}$$

Proof.

Let n is odd. If we use the number of paths in the proof of Theorem 3.6, then we have

$$\begin{aligned} W(G_I(G)) &= \sum_{\{u,v\} \subseteq G} d(u, v) \\ &= \sum_{u \sim e; u \in M(G)} d(u, e) + \sum_{u \sim u^{-1}; u \in M(G)} d(u, u^{-1}) + \sum_{u \neq v; u, v \in M(G)} d(u, v) \\ &= (n-1). 1 + t. 1 + \frac{(n-1)(n-3)}{2}. 2 \\ &= \frac{3(n-1)}{2} + (n-1)(n-3) \\ &= \frac{2n^2 - 5n + 3}{2}. \end{aligned}$$

Now let n is even. Then we also get

$$\begin{aligned}
W(G_I(G)) &= \sum_{u \sim e; u \in M(G)} d(u, e) + \sum_{u \sim e; u \in S(G) \setminus \{e\}} d(u, e) \\
&+ \sum_{u \sim u^{-1}; u \in M(G)} d(u, u^{-1}) + \sum_{u \in M(G); v \in S(G) \setminus \{e\}} d(u, v) + \sum_{u \neq v; u, v \in M(G)} d(u, v) \\
&= (n-2) \cdot 1 + 1 + t \cdot 1 + |M(G)| \cdot 2 + \frac{(n-2)(n-4)}{2} \cdot 2 \\
&= n-1 + \frac{n-2}{2} + 2(n-2) + (n-2)(n-4) \\
&= \frac{2n^2 - 5n + 4}{2},
\end{aligned}$$

and proof is complete.

References

- [1] Anderson, D.F. and Livingston, P.S., The zero-divisor graph of a commutative ring, **Journal of Algebra**, 217: 434-447, (1999).
- [2] Anderson, D.F. and Badawi, A., The total graph of a commutative ring, **Journal of Algebra**, 320, 2706–2719, (2008).
- [3] Chalapathi, T. and Kumar, R.V.M.S.S., Invertible graphs of finite groups, **Computer Science Journal of Moldova**, 26(2), 126-145, (2018).
- [4] Dobrynin, A.A. and Kochetova, A.A., Degree Distance of a Graph: A degree analogue of the Wiener index, **Journal of Chemical Information and Computer Sciences**, 34, 1082-1086, (1994).
- [5] Gutman, I., and Trinajstić, N., Graph theory and molecular orbitals, Total φ –electron energy of alternant hydrocarbons, **Chemical Physics Letters**, 17, 535-538, (1972).
- [6] Gutman, I., Selected properties of the Schultz molecular topological index, **Journal of Chemical Information and Computer Sciences**, 34, 1087-1089, (1994).
- [7] Kandasamy, W.B.V. and Smarandache, F., Groups as Graphs, Editura CuArt 2009, <http://www.gallup.unm.edu/~smarandache/eBooks-otherformats.htm>
- [8] Wiener, H., Structural determination of paraffin boiling points, **Journal of the American Chemical Society**, 69, 17-20, (1947).

Türk yapı sektöründe yapı bilgi modellemesinin adaptasyonu

Merve ERDİK¹, Yeliz TULUBAŞ GÖKUÇ^{2,*}

¹ Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çağış kampüsü, Balıkesir

² Balıkesir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Çağış kampüsü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 28.03.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.09.2019

Öz

Teknolojinin son dönemde en önemli inovasyonu olan BIM'in (Yapı Bilgi Modellemesi) Türk yapı sektöründe adaptasyonunu incelemeyi amaçlayan bu çalışma için gerekli olan bilgiler yapılan literatür taraması sonucu elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan anket çalışması yapılarak toplanmıştır. Tasarım ve inşaat firmalarından oluşan anket katılımcılarının çoğu sektördeki paydaşların ve alt yüklenicilerin teknik olarak yetersiz olmasını BIM kullanımının önündeki en büyük engel olarak belirtmişlerdir. Ayrıca BIM'in potansiyel faydalarının firmalar tarafından henüz anlaşılammış olması ve BIM konusunda uzman iş gücü eksikliği BIM adaptasyonunu engelleyen en önemli faktörler olarak ortaya çıkmıştır. Firmaları BIM kullanımına yöneltecek faktörlerin en önemlileri ise; tasarım çözümlerinin daha iyi görselleştirilmesi, tasarım önerilerinin daha iyi anlaşılması ve titizlikle analiz edilmesi ve simülasyonların daha kolay oluşturulmasıdır. Yapı bilgi modellemesi kavramının önemi zamanla anlaşılmakta olup kullanımı artmaya başlamıştır. İlk olarak, havalimanı, raylı sistem ve hastane projelerinde kullanılan BIM'in kısa zamanda Türkiye'de yapı sektörünün vazgeçilmez bir parçası olacağı düşünülmektedir. Projelerde BIM kullanımının zorunlu hale getirilmesi ve BIM'in adaptasyon sürecini engelleyen faktörlerin minimuma indirilmesi, mümkünse ortadan kaldırılması amaçlanmalıdır.

Anahtar kelimeler: Yapı bilgi modellemesi, BIM, yapı sektörü, yapımda inovasyon.

Merve ERDİK, merveerdik92@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5017-4223>

* Yeliz TULUBAŞ GÖKUÇ, yeliztulubas@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3594-7977>

Bu çalışma; 1. yazarın Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim dalı yüksek lisans programında hazırladığı 'Yapı sektöründe yapı bilgi modellemesinin adaptasyonu' başlıklı tezden üretilmiştir.

Adoption of building information modeling in the Turkish construction sector

Abstract

The purpose of this research is to determine the factors that contribute to adoption of the Building Information Modeling in the construction sector. The necessary information for this study which aims to examine the adoption of BIM (Building Information Modeling), which is the most important innovation of technology, in Turkish construction sector was collected by a questionnaire study based on the data obtained from the literature review. Most of the survey participants stated that technical insufficiency of the stakeholders and subcontractors was the most important factor for BIM adoption in the sector. In addition, the potential benefits of BIM have not yet been understood by the companies and the lack of skilled workforce is the most important factor that preventing the BIM adoption. The most important factors that lead firms to use of BIM are the better visualization of design solutions, better understanding of design proposals and more accurate analysis of simulations. The importance of building information modeling is increasing over time and use of BIM has become widespread in. BIM was primarily used in rail system projects, airports and hospital projects. It is assumed that BIM will be an indispensable part of the construction sector in a short time. For this reason, use of BIM in the projects should be made compulsory. The factors that hinder the adoption process of BIM should be minimized or even eliminated.

Key words: *Building information modeling, BIM, construction sector, construction innovation.*

1. Giriş

Yapı sektörü; bilgi yoğun bir sektördür. Bir yapının planlama, tasarım, yapım ve işletilmesini de kapsayan yaşam döngüsü boyunca, çok miktarda bilgi kullanımı söz konusudur. İnşaat projeleri karmaşık yapıdadır ve gün geçtikçe yönetimi daha da zorlaşmaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling-BIM); farklı disiplinler arasında iş birliğine ve birlikte çalışabilirliğe katkı sağlayan yapı sektöründeki en önemli teknolojik yeniliklerden birisidir. BIM gibi, teknolojideki yeni gelişmeler inşaat ve tasarım firmaları üzerinde ciddi rekabet baskısı yaratır. Tasarım ve inşaat firmaları bu rekabet ortamında hayatta kalabilmek ve gelişmek için yenilikçi yeteneklerini geliştirmek ve yeni teknolojileri adapte etmek ihtiyacı hissederler. Bir inşaat projesini sanal ortamda simüle eden ve projenin başlangıcından yıkımına kadar her aşamasında kullanılabilen BIM; tüm yapı yaşam döngüsü boyunca önemli avantajlar sağlamaktadır [1]. Elde edilen bu faydalara rağmen, BIM'in yapı sektöründe adaptasyonu profesyonellerin BIM'i benimseme konusundaki dirençleri dolayısıyla ve bu çalışmada da açıklanan bazı faktörler nedeniyle hala sınırlıdır. Sonuç olarak BIM'in adaptasyonu beklenenden yavaş olmuştur [2]. Yapı sektöründe faaliyet gösteren tasarım ve inşaat firmaları BIM kullanımına engel teşkil eden birçok faktörle karşılaşmaktadır. Bu da BIM kullanımının adaptasyon sürecine etki etmektedir. Çalışma, BIM'in Türk yapı sektörüne adapte edilmesine katkıda bulunabilecek ve kullanımına engel oluşturan faktörleri belirlemeyi amaçlamaktadır.

2. Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling-BIM)

Yapı sektöründe son yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmelerle birlikte yapı firmaları arasındaki rekabet ortamı giderek artmaktadır. BIM bu bağlamda önemi giderek artan ve gelecek vaat eden önemli gelişmelerden biridir. Günümüzde büyük alanlı, farklı teknolojiler içeren ve karmaşık işlevli yapıların tasarlanmasında, çeşitli disiplinlerden uzman kişilerin bilgi girişine gereksinim duyulmaktadır. Mimari ve mühendislik tasarım sürecinin dijital ortamlarda yapılmaya başlanmasından dolayı, mimar ve çeşitli disiplinlerdeki mühendislerin bilgi alışveriş şekli de değişikliğe uğramıştır [3].

BIM, mimarlar, mühendisler, işverenler ve yükleniciler arasında üç boyutlu bir ortamda iş birliğine dayalı disiplinler arası bir bilgi paylaşımı sağlayarak yapının ilk tasarım sürecinden başlayan yapım aşaması ve yapının kullanım aşamasına kadar uzanan bir bilgi yönetim sistemidir. BIM çok çeşitli projelerde kullanılabilir. Yapı yönetimi, tesis yönetimi, maliyet yönetimi ve proje yönetimi gibi süreçleri desteklemektedir. BIM, yapı yaşam döngüsü boyunca ihtiyacı olan tüm veriyi sayısal bir veri tabanında depolayan ve proje tasarımına yön veren bir metottur. Tekrar gözden geçirme yine bu dijital veri tabanında yapıldığı için, dokümanlarda yapılmış olan herhangi bir değişiklik, veri tabanında tüm dokümanlarda görünür. Dolayısıyla BIM yalnızca tasarımcının değil, tüm proje paydaşlarının ortak olarak kullanabileceği bir bilgi deposu oluşturur [4].

2.1. Dünyada ve Türk yapı sektöründe BIM kullanımı

BIM kullanımına duyulan ilgi, pek çok ülkede giderek artmaya başlamıştır. BIM kullanımı bazı ülkelerde devlet teşviki ve zorunluluğunun katkısı ile yaygınlaşmıştır. Pek çok Avrupa ülkesi BIM konusunda standartlar geliştirmiştir. ABD, yapı sektöründe BIM'in uygulanmasında lider ülkelerden biridir ve BIM konusunda kendi standartlarını geliştirmiştir [5]. McGraw-Hill'in 2012 yılında yaptığı bir araştırmaya göre, Kuzey Amerika'da 2007 yılında yapı sektörünün %28'i BIM araçlarını kullanmakta iken bu oran 2012 yılında %71'e yükselmiştir [6,7].

2016 yılından itibaren İngiltere hükümeti kamu sektöründeki projelerde BIM kullanımını zorunlu hale getirerek Avrupa'daki ülkeler arasında BIM lideri olmayı hedeflemektedir. Batı Avrupa'da ise, BIM kabul oranı %36'dır[8]. Birçok Avrupa ülkesinde örneğin; Almanya, Fransa, Brezilya, Avusturya, Finlandiya, Danimarka, Norveç ve İsveç'de BIM konusunda geniş bir sektör bilinci edinilmesi ve benimsenmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Norveç'te BIM uygulamalarına devlet tesislerinin yapımından yönetiminden ve geliştirilmesinden sorumlu bir firma olan Statsbygg öncülük etmektedir ve 2010 yılından itibaren BIM zorunlu hale getirilmiştir [9]. Danimarka güçlü bir BIM destekleyicisidir ve BIM'e yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yoğun bir yatırım yapmaktadır. Bazı devlet kurumları projelerde BIM kullanımını zorunlu kılmaktadır [9]. Güney Asya'da ülkelerinden Hong Kong'da BIM uygulaması tasarımları bütünleştirmesi, değişikliklere olanak vermesi, üretkenliği üst düzeye çıkararak hataları tespit etmesi ve ortadan kaldırması sebebiyle hızla ilerlemektedir [10]. 2014 yılından itibaren hükümet tüm kamu konut projelerinde BIM kullanımını desteklemektedir [11]. Çin'de, hükümet BIM çerçevesini formüle etmek için beş yıllık bir plan (2011-2015) oluşturmuştur. Afrika'da BIM uygulaması ülkelere göre değişmektedir. BIM farkındalık seviyesi Nijerya'da yüksektir fakat Güney Afrika

sözleşme sorunları, personel eğitimi ve beceri geliştirme açısından yetersizlikler ve nüfus artışı, vb. gibi büyük sorunlarla karşı karşıyadır [12].

Türkiye’de BIM kullanımını ise diğer dünya ülkeleri baz alındığında henüz başlangıç aşamasında olarak değerlendirilebilir. Ancak bazı yerli firmaların uluslararası düzeydeki ihale edilen projelerinde ve sözleşmelerinde işveren talepleri doğrultusunda BIM kullanımına yönelim artmaya başlamıştır. Ancak Türkiye’deki çoğu firmanın alışkanlıklarından kopmak istememeleri, benimsemiş oldukları kendilerine özgü iş stratejilerinden vazgeçmek istememeleri, mevcut düzen ve metotlar içerisinde devam etmek istemeleri firmaların BIM’e geçiş süreçlerini ve adaptasyonunu etkileyen faktörlerdendir. Bir diğer önemli etken ise BIM kullanım oranlarının yüksek olduğu dünya ülkelerinde, BIM’e geçiş süreçlerinde referans alınabilecek kılavuzlar, el kitapları veya standartlar mevcut iken, Türkiye’de BIM’e geçiş süreçlerinde referans alınabilecek standartlar bulunmamaktadır. Bu sebepler ile BIM’e geçmeyi hedefleyen firmalar, ihtiyaçlarını belirlemede ve bu ihtiyaca cevap veren bir süreç yönetimi yapmakta zorlanmaktadırlar [13].

Özorhon ve Karahan (2016) tarafından yapılan çalışmada etkili BIM uygulamaları için temel başarı faktörleri belirlenmeye çalışılmıştır. BIM uygulamalarını olumlu veya olumsuz yönde etkileyen başarı faktörleri belirlenerek çalışma kapsamında bir anket çalışması yapılmıştır. Yapılan faktör analizi sonucunda toplam 16 adet temel başarı faktörü belirlenmiştir. En önemli faktörler (1) nitelikli personel, (2) etkin liderlik ve (3) bilgi ve teknoloji kullanımı olarak belirlenmiştir. BIM uygulamalarının etkin bir şekilde gerçekleşmesinde hem kamu sektörünün hem de özel sektörün önemli bir rolü olduğu vurgulanmıştır. Çalışmanın sonuçları Türkiye’de BIM kullanıcılarının genellikle BIM’i seviye 2 düzeyinde uyguladıklarını göstermektedir. BIM’in daha çok tasarım ve yapım öncesi aşamalarda kullanıldığı işletme ve bakım aşamasında kullanımının sınırlı olduğu ortaya çıkmıştır [14].

Öktem ve Ergen (2017) tarafından yapılan çalışmada Türk yapı sektöründe BIM kullanımına geçiş yapmak isteyen firmaların adaptasyon süreçlerinde zorluk yaşamamaları için kılavuz olarak kullanabilecekleri çerçevelerin oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda organizasyonel ve operasyonel olmak üzere iki çerçeve geliştirilmiştir ve bu çalışma kapsamında yalnızca operasyonel çerçeve hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada BIM’e geçişin bir kültür değişimini beraberinde getirdiği ve adaptasyonun zaman alacağı vurgulanmış olup, bu çalışmada geliştirilen çerçeve yardımıyla adaptasyon sürelerinin kısaltılacağı ve BIM’in projeye olan faydalarının daha kısa sürede elde edileceği kanısına varılmıştır [13].

3. Araştırma yöntemi

BIM’in Türk yapı sektöründe adaptasyonunu incelemeyi amaçlayan bu çalışma için gerekli olan veriler bir anket çalışması yapılarak toplanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan anket formuna “Yapı Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Adaptasyonu” adı verilmiştir.

3.1. Anket formunun organizasyonu

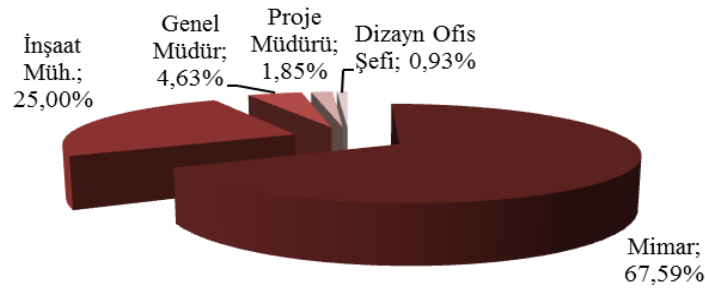
BIM’i henüz kullanmayan tasarım ve inşaat firmalarına yönelik düzenlenen anket formu 10 sorudan oluşmaktadır. Anket formu, 9 sorudan oluşmaktadır. Bu 9 sorunun; 5 tanesi

kategorik ve 4 tanesi Likert tipidir. Anketin ilk sorusu; çalışanların firmadaki pozisyonunu belirlemeye yöneliktir. Anketin ikinci ve üçüncü soruları; firmaların kurumsal özelliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Anketin dördüncü ve beşinci soruları; yapı bilgi modellemesi konusunda firmaların ve katılımcıların deneyimlerini belirlemeye yönelik ifadelerden oluşmaktadır. Anketin son 4 sorusu Likert tipindedir. Katılımcılara yanıtlarını 5 noktalı Likert ölçeği üzerinde belirtmeleri istenmiştir. 5 noktalı Likert ölçeğinde '1=hiç katılmıyorum', '2=katılmıyorum', '3=kararsızım', '4=katılıyorum', '5=tamamen katılıyorum' olarak derecelendirilmiştir. 6.soru firmaları BIM kullanmaya engelleyen /engelleyecek faktörleri, 7.soru ise BIM kullanmaya motive edecek faktörleri belirlemeye yöneliktir. 7. soru hazırlanırken, Tulubas Gokuc ve Arditi (2017)'nin çalışmasındaki[2] anketin bazı ölçeklerinden yararlanılmıştır. 8.soru, mimarlık firmalarındaki üst yönetimin BIM adaptasyonu hususundaki eğilimlerini belirlemek amacı ile sorulmuştur. Son soru ise firma çalışanlarının BIM konusundaki yeterlilikleri belirlemek için oluşturulmuştur.

Çalışma serbest faaliyet gösteren, BIM'i henüz kullanmayan tasarım ve inşaat firmalarını kapsamaktadır. Hedef yanıtlayıcılar belirlendikten sonra, BIM'i henüz kullanmayan 536 firmanın Mimarlar ve İnşaat Mühendisleri Odası aracılığıyla e-posta adreslerine ulaşılmıştır. E-posta adresine ulaşılamayan bazı firmalarla da (firma sayısı 26) yüzyüze görüşmeler yolu ile temasa geçilmiştir. Anket soruları SurveyMonkey uygulamasında hazırlanmış ve bu uygulama vasıtasıyla katılımcılara e-posta ile gönderilmiştir. Toplamda anket çalışması 108 katılımcıdan (anketlerin geri dönüş oranı %20) alınan bilgilerle değerlendirilmiştir.

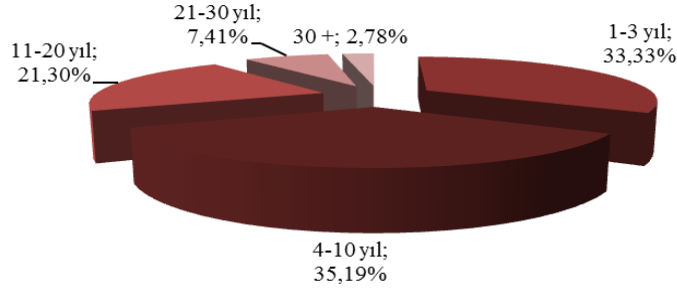
4. Araştırma bulguları

Anket katılımcılarının %67,59'u firmalarında mimar, %25,00'i inşaat mühendisi, %4,63'ü genel müdür %1,85'i proje müdürü, %0,93'ü ise dizayn ofis şefi, pozisyonunda çalışmaktadır (Şekil 1).



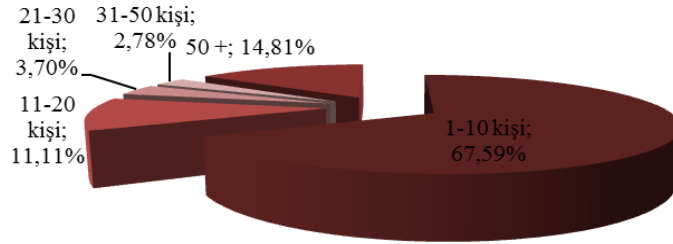
Şekil 1. Katılımcıların firmalardaki pozisyonları.

Şekil 2'de ise anket katılımcılarının sektördeki çalışma yıllarının dağılımı verilmiştir. Bu dağılıma göre katılımcıların %33,33'ü sektörde 1 ile 3 yıl, %35,19'u 4 ile 10 yıl, %21,30'u 11 ile 20 yıl, %7,41'i 21 ile 30 yıl arasında çalışırken, %2,78'i 30 yılı aşkın süredir çalışmaktadır.



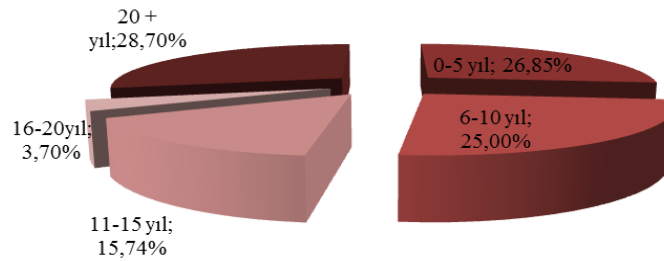
Şekil 2. Katılımcıların sektördeki çalışma yıllarının dağılımı.

Firmaların çalışan sayılarına göre dağılımı Şekil 3'de verilmiştir. Firmaların %67,59'unda 1 ile 10 kişi, %11,11'inde 11 ile 20 kişi, %3,70'inde 21 ile 30 kişi, %2,78'inde 31 ile 50 kişi çalışmaktadır. Ankete katılan firmaların %14,81'inde ise 50 kişiden fazla personel çalışmaktadır.



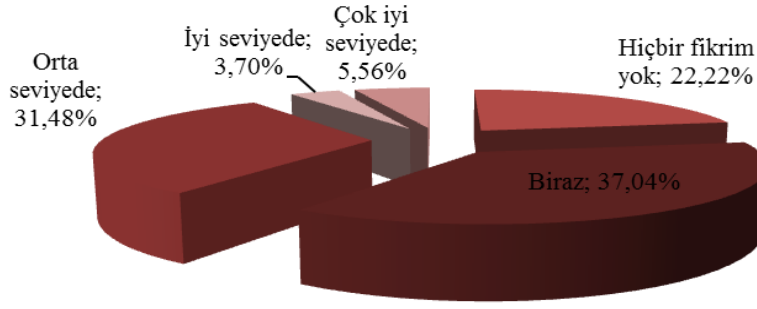
Şekil 3. Firmaların çalışan sayılarına göre dağılımı.

Şekil 4 firmaların kurumsal yaşlarının dağılımını göstermektedir. Firmaların %26,85'i 0 ile 5 yıldır, %25'i 6 ile 10 yıldır, %15,74'ü 11 ile 15 yıldır, %3,70'i 16 ile 20 yıldır ve %28,70'i de 20 yılı aşkın süredir sektörde faaliyet göstermektedir.



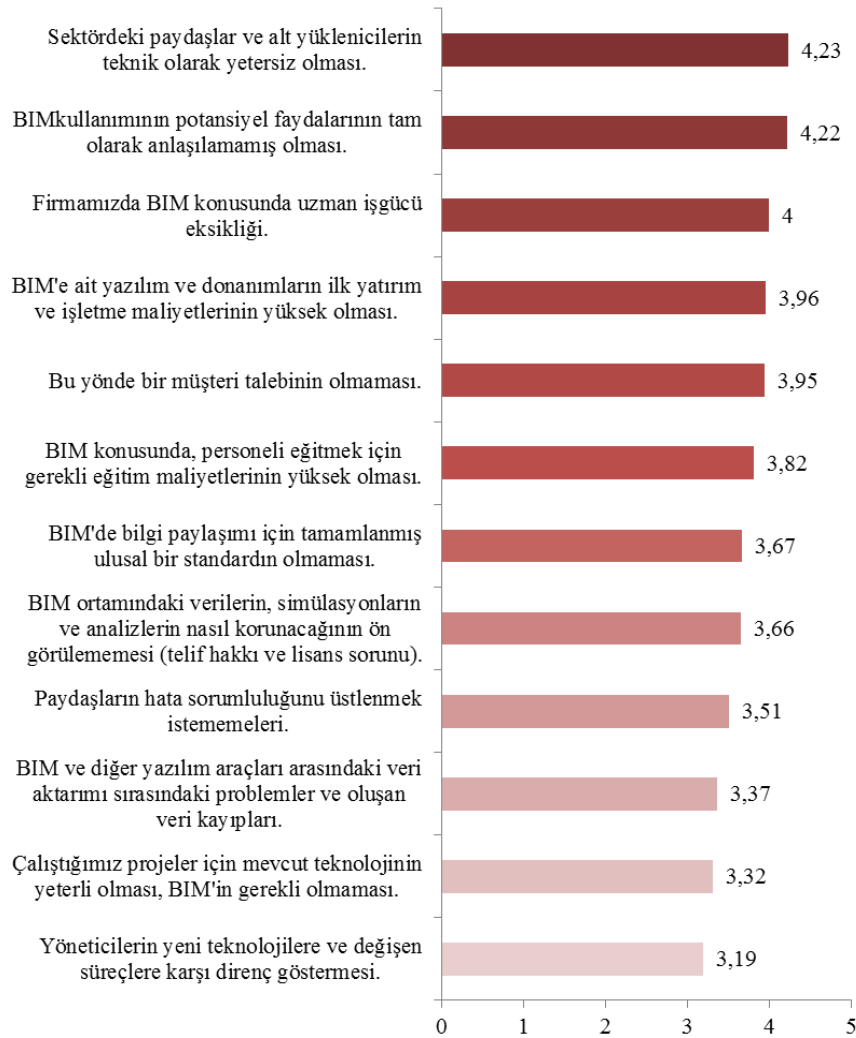
Şekil 4. Firmaların kurumsal yaşlarına göre dağılımı.

Şekil 5 katılımcıların BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) konusundaki bilgi düzeylerini göstermektedir. Katılımcıların % 22,22'si BIM hakkında hiçbir fikri olmadığını, %37,04'ü biraz, %31,48'i orta seviyede, %3,70'i iyi seviyede ve %5,56'sı da çok iyi seviyede bilgi sahibi olduğunu düşünmektedir.



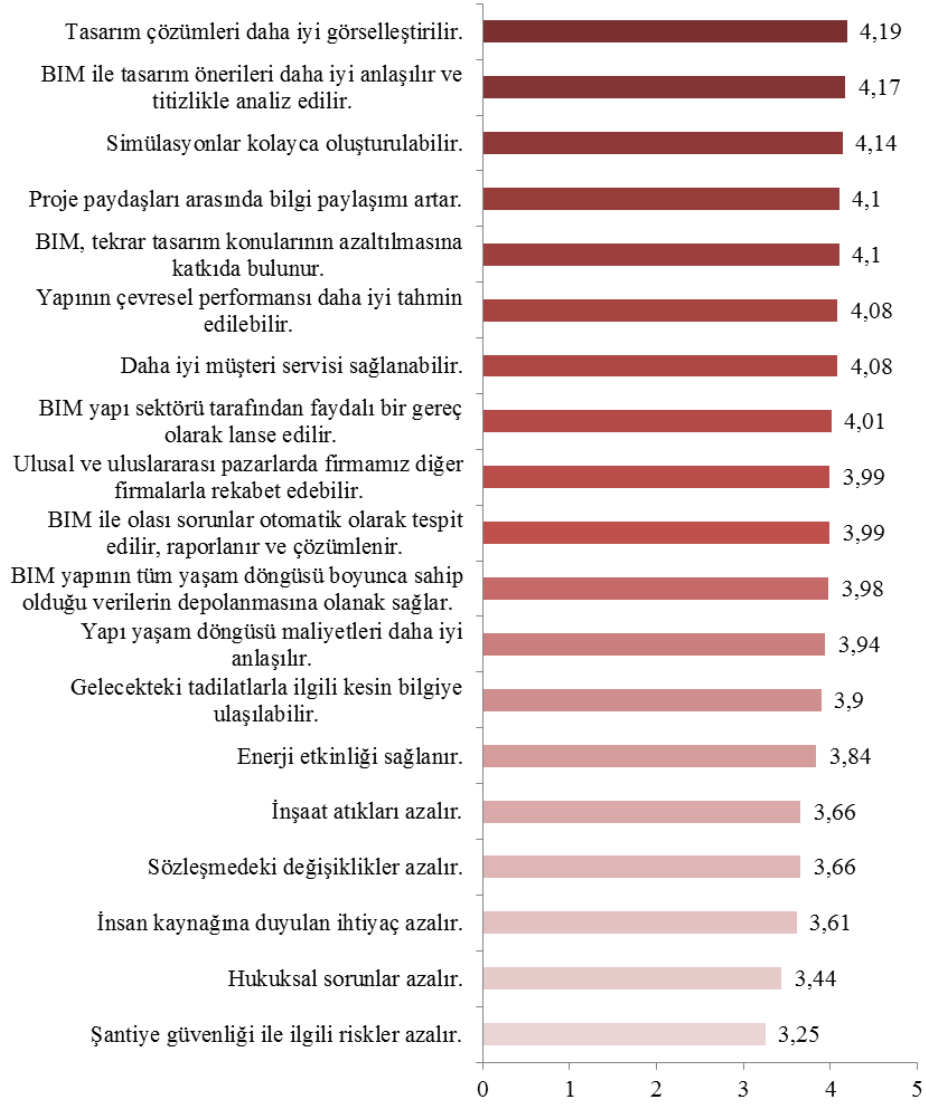
Şekil 5. Katılımcıların BIM konusundaki bilgi düzeyleri.

Şekil 6 mimarların ve mühendislerin BIM kullanımına engel olarak gördükleri faktörleri göstermektedir. Buna göre; sektördeki paydaşlar ve alt yüklenicilerin BIM konusunda yetersiz olması en önemli faktör olarak ortaya çıkmıştır (ortalama=4,23). Ayrıca BIM'in potansiyel faydalarının firmalar tarafından henüz anlaşılammış olması (ortalama=4,22) ve BIM konusunda uzman işgücü eksikliği (ortalama=4,00) BIM adaptasyonunu engelleyen en önemli diğer iki faktördür.



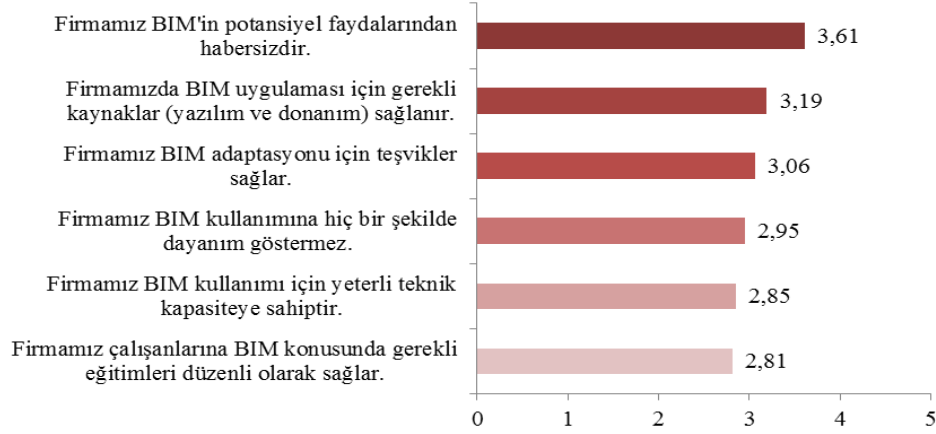
Şekil 6. BIM kullanımını engelleyen faktörler, ortalama değerler.

Şekil 7 ise, firmaları BIM kullanımına yöneltecek faktörleri göstermektedir. Tasarım çözümlerinin daha iyi görselleştirilmesi (Ort=4,19) firmaları BIM kullanımına yönlendirecek en önemli faktördür. Görselleştirme birçok araştırmacı tarafından BIM'in en önemli faydası olarak görülür[15,16].



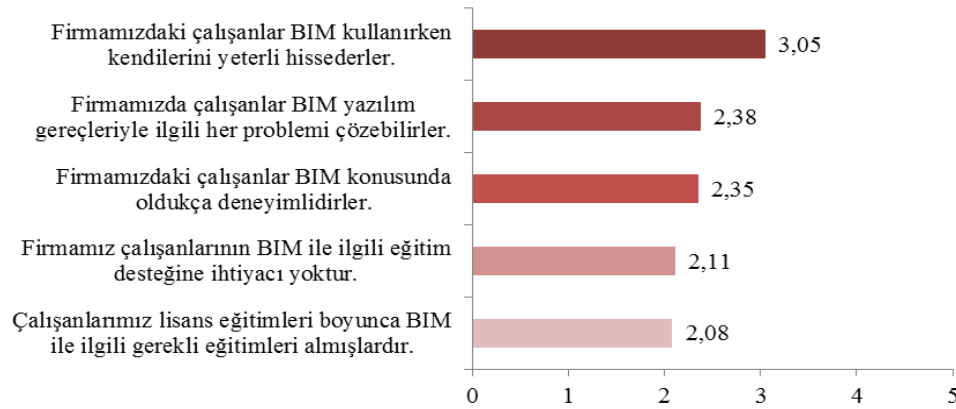
Şekil 7. Firmaları BIM kullanımına yöneltecek faktörler.

Şekil 8 ise firmalarda üst yönetimin desteği açısından durum tespitini göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında; firmamız BIM'in potansiyel faydalarından habersizdir (ortalama=3,61) ve firmamızda BIM uygulaması için gerekli kaynaklar (yazılım ve donanım) sağlanır (ortalama=3,19) ifadeleri ön plana çıkmaktadır. Bir organizasyonun BIM'i adapte etme kararı üst yönetimin desteği olmadıkça risklidir. Bazı çalışmalarda üst yönetimin desteği BIM adaptasyonunda ana başarı faktörlerindedir[17].



Şekil 8. BIM kullanımı ile ilgili üst yönetimin desteği.

Şekil 9 katılımcıların BIM konusundaki yeterliliklerini göstermektedir. Çalışanlar kendilerini BIM konusunda yeterli hissetmekle birlikte firmaların BIM ile ilgili eğitim desteğine ihtiyacı olduğu görülmektedir. Ayrıca anket katılımcılarının çoğunun lisans eğitimleri kapsamında müfredatlarında BIM ile ilgili derslerin olmadığı görülmektedir.



Şekil 9. Katılımcıların BIM konusundaki yeterlilikleri.

5. Tartışma

Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında; Türk yapı sektöründeki firmaları BIM kullanımına engel teşkin eden faktörlerden en önemlisi sektördeki paydaşlar ve alt yüklenicilerin BIM konusunda yetersiz olmasıdır (ortalama=4,23). Ayrıca BIM'in potansiyel faydalarının firmalar tarafından henüz anlaşılamamış olması (ortalama=4,22) ve BIM konusunda uzman işgücü eksikliği (ortalama=4,00) BIM adaptasyonunu engelleyen en önemli diğer iki faktördür. Çalışmada firmaları BIM kullanımına yönlendirecek faktörlerden en önemlileri; tasarım çözümlerinin daha iyi görselleştirilmesi (ortalama=4,19), BIM ile tasarım önerilerinin daha iyi anlaşılması ve titizlikle analiz edilebilmesi (ortalama=4,17) ve simülasyonların kolayca oluşturulabilmesidir (ortalama=4,14). 4,19 ortalama ile tasarım çözümlerinin daha iyi görselleştirilmesi firmaları BIM kullanımına yönlendirecek en önemli faktördür. Görselleştirme birçok araştırmacı tarafından BIM'in en önemli faydası olarak görülür [13,16,18]. Hergunsel (2011)'e göre [15]; BIM binanın 3 boyutlu sanal bir temsili

sağladığı için iyi bir görselleştirme aracıdır. Görselleştirme sonuç ürünün nasıl görüneceğinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur.

Geliştirilmiş görselleştirme, bina önerilerinin doğru analizine yardımcı olur. İşveren ya da son kullanıcının geri bildirimlerine dayalı olarak farklı tasarım alternatifleri ve konfigürasyonları kolaylıkla modellenebilir ve gerçek zamanlı olarak değiştirilebilir. 3 boyutlu doğru bir görselleştirmenin kullanımı; farklı tasarım çözümlerini anlamak için fiziksel modellere duyulan ihtiyacı ortadan kaldırır [19]. BIM ile simülasyonlar kolayca oluşturulabilirler. BIM'in en önemli faydalarından biri, tasarımcıların farklı mevsimlerdeki güneş ışığı gibi değişkenleri görselleştirmesini sağlayan veya bina enerji performansı hesabının yapılmasına imkan veren simülasyon araçlarıdır. Simülasyonlar; tasarımcılara tasarım, yapım ve bakım aşamalarının rafine olmasında yardımcı olurlar. Aynı zamanda karar alma süreçlerini geliştirdikleri için paydaşlara farklı alternatifler sunabilmek için önemlidirler. Issa ve diğerleri'nin (2009) çalışması da [20] önümüzdeki 10 yılda BIM kullanılarak yapılan simülasyonlarda artış olacağını öngörmektedir. Çalışma bulgularına üst yönetimin desteği açısından bakıldığında; "firmamız BIM'in potansiyel faydalarından habersizdir" (ortalama=3,61) ve "firmamızda BIM uygulaması için gerekli kaynaklar (yazılım ve donanım) sağlanır (ortalama=3,19)" ifadeleri ön plana çıkmıştır. Bir organizasyonun BIM'i adapte etme kararı üst yönetimin desteği olmadıkça risklidir. Gilligan ve Kunz (2007) ve Lee ve diğerleri'nin(2005) çalışmalarında üst yönetimin desteği BIM adaptasyonunda ana başarı faktörlerindedir [17;21]. McGraw-Hill yapım raporuna göre [6], BIM adaptasyonu 2007'de %28 iken 2012'de %70'e kadar çıkmıştır. BIM'in geleceğin trendi olduğu çok açıktır. Bew ve Underwood (2010) çalışmalarında [22]; BIM adaptasyonunun başarılı olabilmesinin değişimi kabul etmeye hazır bir organizasyon kültürü ile mümkün olacağını vurgulamışlardır.

Çalışanların BIM ile ilgili yeterlilikleri açısından sonuçlar değerlendirildiğinde; yanıtlayanların en çok "firmamızdaki çalışanlar kendilerini BIM konusunda yeterli hissederler (ortalama=3,05)" ve "çalışanlar BIM Yazılım gereçleriyle ilgili her problem çözebilirler (ortalama=2,38)" ifadelerine katıldıkları göze çarpmaktadır. Ayrıca anket katılımcılarının çoğunun lisans eğitimleri kapsamında müfredatlarında BIM ile ilgili derslerin olmadığı görülmektedir. Sadece ülkemizde değil BIM adaptasyonu konusunda önde giden ülkelerden biri olan Amerika'da da durumun çok farklı olmadığı görülmektedir [23]. Ders müfredatlarında BIM'in yer almaması BIM ile ilgili dersleri öğretecek uzmanların olmamasından kaynaklanmaktadır. Üniversitelerde BIM öğrenimi gelecekteki profesyonelleri pratiğe hazırlamak için faydalı olabilir [24]. Firma çalışanlarının BIM konusunda eğitim desteğine ihtiyacı olduğu açıktır. Anket katılımcılarının çoğu firmalarının BIM'in potansiyel faydalarından habersiz olduğu görüşündedir. Firmalar BIM için yeterli teknik kapasiteye sahip değildir ve çalışanlarına BIM konusunda gerekli eğitimleri düzenli olarak sağlamamaktadırlar.

6. Sonuç

Yapı sektöründe faaliyet gösteren firmaların ulusal ve uluslararası pazarlarda rekabet edebilmeleri için; zaman ve maliyet kayıplarını en aza indirmeleri, sürdürebilir projeler üretebilmeleri, enerji ve kaynakları daha etkin ve verimli kullanılabilmeleri ve proje sürecindeki tüm paydaşlar arasında etkili işbirliği ve bilgi paylaşımı sağlayabilmeleri gerekmektedir. Projenin sadece ön yapım ve yapım aşamasını değil yapım sonrası

aşamaları da kapsayan bilgilerin en doğru şekilde depolanıp yönetilmesi bu nedenle oldukça önemlidir. BIM'in, firmaların beklentilerini tam olarak karşılayabilmesi BIM uygulamalarının etkin bir şekilde kullanımı ile mümkündür.

Pek çok ülkede zorunlu olan BIM'in kullanımı Türkiyede de zamanla artmaktadır. İlk olarak, havalimanları, raylı sistem ve hastane projelerinde kullanılan BIM'in kısa sürede ülkemizde yapı sektörünün önemli bir parçası olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle BIM'in potansiyel faydalarının farkında olan firmaların sistemi kullanabilmesi için işverenlerin (kamu ve özel sektör) projelerde BIM kullanımı zorunlu kılarak destek sağlaması önemlidir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre; BIM'in adaptasyon sürecini önemli ölçüde etkileyen faktör, sektördeki paydaşların ve alt yüklenicilerin yetersizliğidir. BIM farkındalığını öncelikli olarak proje sürecinin önemli bir parçası olan sektördeki paydaşlara ve yüklenicilere aşılacak gerekmektedir. Dolayısıyla hem üniversiteler hem de kamu ve özel sektör kurumlarına önemli roller düşmektedir.

Üniversitelerin lisans ve yüksek lisans programlarında yapı sektöründe BIM'in potansiyel faydalarının farkındalığının artmasını sağlamak ve kullanımını teşvik etmek amacıyla müfredatlarında BIM ile ilgili derslere yer verilmesi sektöre BIM hakkında bilgi sahibi bireylerin yetişmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca üniversitelerin, eğitim kurumların ve bazı kurum ve kuruluşların eğitim, seminer, konferans düzenlemesi BIM eğitimi için gereken maliyeti de minimuma indirebilir.

BIM'in kullanımının önüne geçen en büyük sorunlardan biri de ulusal bir standardın olmayışıdır. Bu nedenle BIM'in Türk yapı sektöründe kullanımının yaygınlaşmasını hızlandırmak için tüm ilgili kurum ve kişiler aracılığıyla ulusal BIM standartları, kılavuzları, kanun ve yönetmelikleri hazırlanıp kullanımını zorunlu kılan uygulamalarla teşvik edilmesi sağlanmalıdır. Yöneticilerin ise yeni teknolojilere ve değişen süreçlere direnç göstermemesi uyum sağlaması ve uzun vadeli geri dönüşler için sabırlı olması gereklidir. BIM kullanımının yaygınlaşması için yazılım ve donanımların ilk yatırım ve işletme maliyetleri ile eğitim maliyetleri en aza indirilmelidir. Bununla birlikte BIM ortamındaki verilerin, simülasyonların ve analizlerin nasıl korunacağını ön görülebilmesi de diğer bir engeldir.

Kaynaklar

- [1] Yan, H. and Damian, P., Benefits and barriers of building information modeling, 12th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Beijing, 1-6, (2008).
- [2] Tulubas Gokuc Y. and Arditi D., Adoption of BIM in architectural design firms, **Architectural Science Review**, 60(6). 483-492, (2017).
- [3] İnan, N., Yıldırım, T., Mimari tasarım sürecinde disiplinlerarası ilişkiler ve eşzamanlı-dijital ortam tasarım olanakları, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 24(4), 583-595, (2009).
- [4] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Hoboken, 1-640, (2011).
- [5] NIBS, United States National Building Information Modeling Standard Version 1 - Part 1: Overview, Principles, and Methodologies, (2007).

- [6] McGraw-Hill Construction Report, The business value of BIM in North America, SmartMarket Report, Bedford, MA: McGraw-Hill Construction, (2012).
- [7] Bernstein, H. M., Jones, S. A., Russo, M. A., The business value of BIM in North America: Multi-year trend analysis and user rating (2007–2012), McGraw-Hill Construction, Bedford, MA, 1-72, (2012).
- [8] McGraw-Hill Construction Report, The business value of BIM in Europe, Getting building information modeling to the bottom line in the United Kingdom, France and Germany, SmartMarket Report, Bedford, MA: McGraw-Hill Construction, 1–52, (2010).
- [9] Özorhon, B., **Yapı bilgi modellemesi, İBB İstanbul Anadolu Yakası Raylı Sistem Projeleri**, Abaküs Yayıncılık, 1-152, (2018).
- [10] Kekana, T.G., Aigbavboa C.O., Thwala W.D., Building information modelling (BIM) barriers in adoption and implementation strategies in the South Africa construction industry, International Conference on Emerging Trends in Computer and Image Processing, 15-16, (2014).
- [11] Chan, C., Barriers of implementing BIM in construction industry from the designers perspective A Hong Kong, **Journal of System and Management Sciences**, 4, 24-40, (2018).
- [12] Ogwueleka, A.C., Upgrading from the use of 2D CAD systems to BIM technologies in the construction industry consequences and merits, International **Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, 28, 403-411, (2014).
- [13] Öktem S.,Ergen E., BIM'e geçiş sürecinin operasyonel çerçevesi, 4. Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, Samsun, Türkiye,627-635, (2014).
- [14] Özorhon, B., Karahan, U., Critical success factors of building information modeling (BIM) implementation, ASCE **Journal of Management in Engineering**, 33 (3), 256-263, (2016).
- [15] Hergunsel, M., Benefits of building information modeling for construction managers and Bim based scheduling. Thesis Submitted to the Faculty of Worcester Polytechnic Institute, 1-89, (2011).
- [16] Qian, A. Y., Benefits and ROI of BIM for Multi-Disciplinary Project Management, National University of Singapore, 2012. Accessed March 03, 2019. <http://www.icoste.org/wp-content/uploads/2011/08/Benefits-and-ROIof-BIM-for-Multi-Disciplinary-Project-Management.pdf>
- [17] Gilligan, B. ,Kunz, J., VDC use in 2007: significant value, dramatic growth, and apparent business opportunity. CIFE Technical Rep. No. TR171, Stanford Univ., Palo Alto, CA, 1-40, (2007).
- [18] Azhar, S., M. Hein, B. Sketo, Building information modeling: benefits, risks and challenges, Proceedings of the 44th ASC National conference, Auburn, AL, April 2–5, 1-7, (2008).
- [19] Sanchez, A. X., Hampson, K. D., Vaux, S., Delivering value with BIM: A whole-of-life approach, Abingdon: Routledge, 1–366, (2016).
- [20] Issa, R. R., Suermann, P., Olbina S., Use of building information models in simulations, Proceedings of the 2009 winter simulation conference (WSC 09), Austin, TX, 2264–2271, (2009).
- [21] Lee, S., Yu, J., Jeong D., BIM acceptance model in construction organizations, **Journal of Management Engineering**, 31(3), 1-113, (2015).
- [22] Bew, M., Underwood, J., **Delivering BIM to the UK market**, In handbook of research on building information modelling and construction informatics:

- concepts and technologies, edited by Jason Underwood and Umit Isikdag, Hershey, New York: Information Science Reference, 30–64, (2010).
- [23] Becerik-Gerber, B., Gerber, D., Ku K., The pace of technological innovation in architecture, engineering and construction education: integrating recent trends into the curricula, **Journal of Information Technology in Construction**, 16, 411–432, (2011).
- [24] Becerik-Gerber, B., Kensek, K. Building information modeling in architecture, engineering and construction: emerging research directions and trends. ASCE **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, 136 (3), 139–147, (2010).

Accumulation copper (Cu) in the *Halimione portulacoides* (L.) Aellen and *Suaeda prostrata* subsp. *prostrata* pall. taxa, spreading in Ayvalık saltern (Balıkesir-Turkey)

Güngör AY¹, Murat KILIÇ², Fatma KOÇBAŞ¹, Fatma MÜNGAN KILIÇ^{2,*}

¹ Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Celal Bayar University, Muradiye, Manisa, Turkey

² Department of Crops and Animal Production, Kızıltepe Vocational Training High School, Artuklu University, Kızıltepe, Mardin, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 04.04.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.12.2019

Abstract

The aim of this present study was to compare the level of copper (Cu) in the soils and different organs (root, stem, leaves) of *Halimione portulacoides* (L.) Aellen and *Suaeda prostrata* subsp. *prostrata* Pall. taxa which are widespread distribution in every locality of from Ayvalık saltern in Balıkesir. Each month samples were collected from determined seven stations, from soil dam surrounding saltern. Analyses were done by using Perkin Elmer Analyst 700 Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS) device. The level of Cu in *H. portulacoides* (0.003-0.925 ppm) and *S. prostrata* subsp. *prostrata* (0.004-0.896 ppm) was observed to be quite different. Levels of copper in the soils were below the limits of the Turkey soil pollution control regulations standard (TSP, 24609). The levels of Cu were found in the soil in *H. portulacoides* was 0.862-1.111 ppm, *S. prostrata* subsp. *prostrata* 0.858-1.111 ppm.

Keywords: Ayvalık saltern, copper, halophytic plant, pollution.

Güngör AY, gungoray@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3292-4932>

Murat KILIÇ, muratkilic04@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6408-9660>

Fatma KOÇBAŞ, fatma.1970@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1053-3455>

* Fatma MÜNGAN KILIÇ, fatmamungankilic@artuklu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6858-3458>

Ayvalık tuzlasında yayılış gösteren *Halimione portulacoides* (L.) ve *Suaeda prostrata* subsp. *prostrata* pall. taksonlarında bakır (Cu) birikimi (Balıkesir-Türkiye)

Öz

Çalışmamızın amacı Balıkesir ilinde bulunan Ayvalık tuzlasının her lokalitesinde yayılış gösteren ve yoğun olarak bulunan *Halimione portulacoides* (L.) Aellen ve *Suaeda prostrata* subsp. *prostrata* Pall. taksonlarının topraklarında ve farklı organlarında (kök, gövde ve yaprak) bakır (Cu) seviyesini karşılaştırmaktır. Her ay tuzlayı çevreleyen toprak set üzerinde belirlenen yedi istasyondan örnekler alınmıştır. Analizler Perkin Elmer Analyst 700 model alevli atomik absorpsiyon Spektrofotometresi (FAAS) cihazı ile yapıldı. Cu seviyesi *H. portulacoides* (0.003-0.925 ppm) ve *S. prostrata* subsp. *prostrata* (0.004-0.896 ppm) oldukça farklı olduğu gözlemlenmiştir. Topraktaki Cu değerleri; *H. portulacoides*'de 862-1.111 ppm, *S. prostrata* subsp. *prostrata*'da ise 0.858-1.111 ppm olarak bulunmuş olup, Türkiye toprak kirliliği kontrol yönetmeliği değerlerinin altında çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Ayvalık tuzlası, bakır, halofitik bitki, kirlilik.

1. Introduction

Heavy metals have a different significance to other chemical pollutants because they may be found in several different sources, they create a prevalent source of pollution, they are resistant to environmental conditions, they always affect biological systems and may accumulate in living beings in increasing concentrations by easily entering the food chain [1, 2]. Industrial activities exhaust gases of motorized vehicles, mineral deposits and establishments, volcanic activities, fertilizers and pesticides that are used in agriculture and urban waste are some of the factors that cause heavy metals to spread in the environment [3]. 50% of this pollution is created by motorized vehicles [4]. Trace elements such as Mn, Fe, Cu, Zn and Ni among the heavy metals are elements that are needed for plants [5]. The effect of heavy metal pollution on plants is dependent on the quantity of the pollutant, distance of the source of the pollutant, time of exposure and meteorological conditions [6]. As copper is a material that is used in various fields, there are multiple sources of pollution that is caused by this element. Using this element in processes or packaging may pollute the products and harm the environment [7]. While plants can collect heavy metals from their roots and store them in their other organs, they also take them into their bodies through their stomata [8]. When there is excessive accumulation of heavy metals in plant tissues, multiple processes such as mineral nutrient intake, photosynthesis, enzyme activity, chlorophyll biosynthesis and germination are affected negatively. These problems may be accompanied by physiological processes such as membrane damage, disruption of the hormonal balance and alterations in water status [9]. Additionally, regardless of whether or not they are micronutrient elements, excessive accumulation of heavy metals in the plant leads to physiological stress and reduction in growth and development [10]. *H. portulacoides*, which is a halophytic plant, is an edible, long-rooted, perennial, evergreen plant with succulent leaves whose height in saltern forms reach up to 40 cm. *S. prostrata* subsp.

prostrata is a long-rooted, annual halophytic plant with succulent leaves and erect stem whose height in saltern forms reach up to 20 cm. While several studies have been carried out on the *H. portulacoides* in the world, especially in Portugal [11-13], no study was found in Turkey regarding *H. portulacoides* or *S. prostrata* subsp. *prostrata* except for the study by [14] which investigated the heavy metal contents and the pollution of the Ayvalık Saltern.

The Ayvalık Saltern, which is located near the İzmir-Çanakkale highway in İzmir, is the second largest seawater saltern in Turkey. Here, an annual average of 20,000 tons of salt is produced. The salt that is produced here is used in the leather and intestine sector, snow control work and especially in the food industry. Due to the excessive concentration of salt in the soil barriers that connect the 17 evaporation and 5 crystallization pools found in the Ayvalık Saltern, almost no plants can grow there. There are halophytic plants such as *H. portulacoides*, *Salicornia europaea* L. and *S. prostrata* subsp. *prostrata* in the soil barrier that surrounds the saltern. This study aimed to determine the Cu levels of the soils in which the plants *S. prostrata* subsp. *prostrata* and *H. portulacoides* naturally grow in the Ayvalık Saltern, as well as the changes in these levels based on distance to the highway.

2. Materials and methods

The Ayvalık Saltern, which was established in 1980 on an area of 930,000 m², is located near the İzmir-Çanakkale highway at a distance of 11 km from the district of Ayvalık in Balıkesir, Turkey. The saltern is surrounded by a soil barrier of approximately 1 m of height and a water-filled drainage trench of 2-3 m of width that restricts it. The materials of our study consisted of the *H. portulacoides* and *S. prostrata* subsp. *prostrata* plants that are abundantly spread on the soil barrier and the soils they grew in. Sampling took place between the dates of June 2009 and May 2010 regularly in monthly intervals on 7 stations that were determined on the soil barrier surrounding the saltern (Figure 1). The plants were collected without using metal tools, brought to the laboratory and dried for 16 hours in a stove set at 105°C. Each of the dried samples was turned into a powder in a porcelain mortar, 1 gr of the sample was collected by weighing on a precision scale and put in 250-ml beakers. HCl: HNO₃ (3: 1) added onto the samples. The samples were subjected to a burning process in a fume hood for 2 hours at 150-200°C until approximately 1 ml of white-colored plant melt remained on the hot plate. After the melt was filtered through blue-grade filter paper, it was filled up to 50 ml with distilled water. The analyses were carried out by a Perkin Elmer Analyst 700 Model Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS).

The soil samples were also collected without using metal tools from a depth of approximately 20 cm by extracting cores for 0.5-kg samples. The soils that were put into plastic bags were brought to the laboratory in iceboxes and stored at -21°C until the analyses. The soils that were put in a certain amount on petri dishes before the analyses were dried for 16 hours in a stove set at 105 °C. Each dried sample was turned into powder in a porcelain mortar, homogenized and filtered through a 160 µ sieve. The sieved soil samples were weighed as 0.5 gr on a precision scale, and HCl: HNO₃ (3: 1) was added. They were then subjected to a burning process under a fume hood for 2 hours at 150-200°C until a white-colored melt remained. After the melt was filtered through blue-grade filter paper, the samples were completed to 25 ml with distilled

water [15]. The analyses were carried out by a Perkin Elmer Analyst 700 Model Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS).

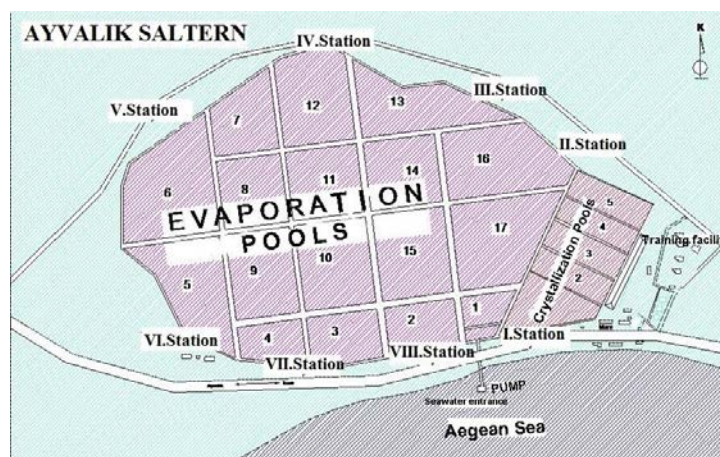


Figure 1. The Ayvalık saltern and sampling stations.

2.1. The 2009-2010 meteorological (precipitation and wind) data for the district of ayvalık

Table 1 shows the monthly average precipitation values and wind speeds based on the meteorological data obtained from the General Directorate of Meteorology, the Turkish Ministry of Forestry and Water Affairs.

Table 1. June 2009 - may 2010 monthly total precipitation (mm) average wind speed (m/sec) for the district of Ayvalık.

Month	Jun. 09	Jul. 09	Aug. 09	Sep. 09	Oct. 09	Nov. 09	Dec. 09	Jan. 10	Feb. 10	Mar. 10	Apr. 10	May. 10
Precipitation	21,6	0	0	15,6	11,0	91,8	162,9	96,5	270,1	21,7	30,9	26,0
Wind	2,1	2,7	3,4	2,4	2,1	1,4	2,0	2,4	1,9	1,9	2,3	1,6

3. Results and discussion

The *H. portulacoides* and *S. prostrata* subsp. *prostrata* samples that were collected from the Ayvalık Saltern were analyzed by dividing them into root, stem and leaf parts. All analysis results (including soil) are shown in Table 2. According to these results, the Cu concentration of the *H. portulacoides* species was found to be in the range of 0.003-0.925 ppm. This rate was in the range of 0.862-1.111 ppm in the soil. According to the average values of 7 stations, the lowest monthly Cu concentration values were 0.927±0.01 ppm in the soil (March 2010), 0.039±0.03 ppm in the root (September 2009), 0.029±0.02 ppm in the stem (August 2009) and 0.042±0.03 ppm in the leaves (April 2010). The highest Cu concentration values were 0.968±0.07 ppm in the soil (February 2010), 0.845±0.04 ppm in the root (June 2009), 0.418±0.05 ppm in the stem and 0.482±0.05 ppm in the leaves (June 2009). According to the 12-month average values of each station, the lowest Cu concentrations were found as 0.924±0.03 ppm in the soil (station 3), 0.147±0.23 ppm in the root (station 4), 0.096±0.09 ppm in the stem (station 5) and 0.104±0.13 ppm in the leaves (station 4). Based on the same values, the highest Cu concentrations were found as 0.986±0.07 ppm in the soil (station 7), 0.238±0.29 ppm in the root (station 1), 0.116±0.12 ppm in the stem (station 4) and 0.135±0.13 ppm in the leaves (station 5) (Table 2, Figure 2).

Table 2. 12-month average Cu concentration values for all stations in *H. portulacoides* and growth soil (dry weight).

Station No	Cu ppm	Soil	Root	Stem	Leaf
1	Mean/SD	0.953±0.04	0.238±0.29	0.114±0.12	0.121±0.16
	Min-Max	0.890-1.057	0.005-0.925	0.021-0.376	0.012-0.500
2	Mean /SD	0.944±0.03	0.213±0.23	0.103±0.11	0.105±0.11
	Min-Max	0.862-0.995	0.046-0.892	0.011-0.435	0.022-0.450
3	Mean/SD	0.924±0.03	0.164±0.22	0.099±0.10	0.119±0.11
	Min-Max	0.872-0.982	0.015-0.845	0.013-0.419	0.029-0.440
4	Mean /SD	0.928±0.03	0.147±0.23	0.116±0.12	0.104±0.13
	Min-Max	0.872-0.984	0.003-0.882	0.023-0.456	0.008-0.500
5	Mean/SD	0.947±0.04	0.164±0.22	0.096±0.09	0.135±0.13
	Min-Max	0.898-1.055	0.011-0.832	0.023-0.354	0.006-0.502
6	Mean/SD	0.948±0.03	0.188±0.22	0.097±0.11	0.122±0.13
	Min-Max	0.913-1.022	0.005-0.846	0.012-0.435	0.031-0.525
7	Mean/SD	0.986±0.07	0.151±0.22	0.096±0.13	0.125±0.14
	Min-Max	0.900-1.111	0.006-0.861	0.013-0.498	0.022-0.556

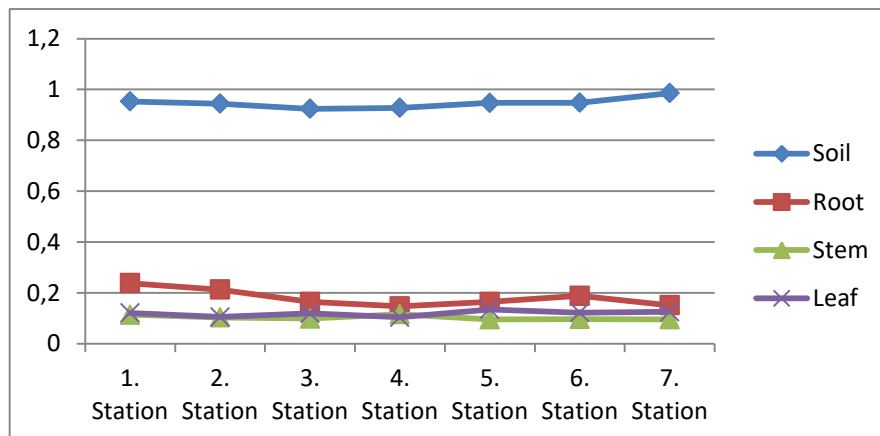


Figure 2. 12-month average Cu concentration values for all stations in *H. portulacoides* and growth soil (dry weight).

The *S. prostrata* subsp. *prostrata* samples that were collected from the Ayvalık Saltern were analyzed by dividing them into root, stem and leaf parts. All analysis results (including soil) are shown in Table 3. According to these results, the Cu concentration of the *Suaeda* species was found to be in the range of 0.004-0.896 ppm. This rate was in the range of 0.858-1.111 ppm in the soil. According to the average values of 7 stations, the lowest monthly Cu concentration values were 0.919±0.03 ppm in the soil (March 2010), 0.067±0.04 ppm in the root (August 2009), 0.034±0.01 ppm in the stem and 0.064±0.03 ppm in the leaves (July 2009). The highest Cu concentrations were 0.966±0.06 ppm in the soil (June 2009), 0.860±0.01 ppm in the root (June 2009), 0.821±0.02 ppm in the stem (June 2009), and 0.861±0.01 ppm in the leaves (December 2009). According to the 12-month average values of each station, the lowest Cu concentrations were found as 0.924±0.03 ppm in the soil (station 3), 0.140±0.22 ppm in the root (station 7), 0.114±0.22 ppm in the stem (station 5) and 0.150±0.27 ppm in the leaves (station 2). Based on the same values, the highest Cu concentrations were found

as 0.986 ± 0.07 ppm in the soil (station 7), 0.186 ± 0.22 ppm in the root (station 3), 0.139 ± 0.22 ppm in the stem (station 6) and 0.209 ± 0.26 ppm in the leaves (station 5) (Table 3, Figure 3).

Table 3. 12-month average Cu concentration values for all stations in *S. prostrata* subsp. *prostrata* and growth soil (dry weight).

Station No	Cu ppm	Soil	Root	Stem	Leaf
1	Mean/SD	0.953 ± 0.04	0.158 ± 0.24	0.124 ± 0.23	0.180 ± 0.29
	Min-Max	0.890-1.057	0.011-0.854	0.004-0.872	0.034-0.896
2	Mean /SD	0.944 ± 0.03	0.148 ± 0.22	0.131 ± 0.21	0.150 ± 0.27
	Min-Max	0.862-0.995	0.023-0.861	0.025-0.801	0.030-0.836
3	Mean/SD	0.924 ± 0.03	0.186 ± 0.22	0.120 ± 0.22	0.168 ± 0.28
	Min-Max	0.872-0.982	0.052-0.872	0.009-0.812	0.020-0.856
4	Mean /SD	0.928 ± 0.03	0.180 ± 0.21	0.120 ± 0.21	0.195 ± 0.27
	Min-Max	0.872-0.984	0.050-0.863	0.012-0.798	0.047-0.876
5	Mean/SD	0.947 ± 0.04	0.146 ± 0.22	0.114 ± 0.22	0.209 ± 0.26
	Min-Max	0.898-1.055	0.007-0.850	0.009-0.803	0.021-0.856
6	Mean/SD	0.948 ± 0.03	0.177 ± 0.22	0.139 ± 0.22	0.180 ± 0.27
	Min-Max	0.913-1.022	0.057-0.882	0.015-0.824	0.024-0.846
7	Mean/SD	0.986 ± 0.07	0.140 ± 0.22	0.136 ± 0.22	0.208 ± 0.26
	Min-Max	0.900-1.111	0.022-0.852	0.009-0.828	0.056-0.862

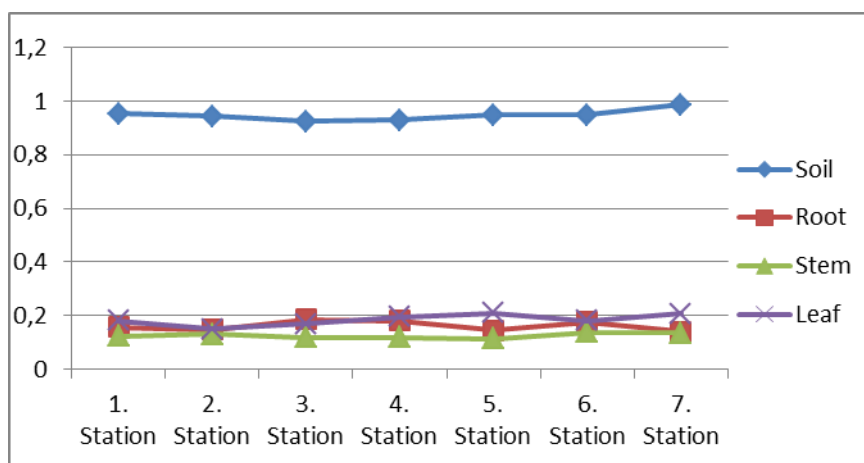


Figure 3. 12-month average Cu concentration values for all stations in *S. prostrata* subsp. *prostrata* and growth soil (dry weight).

The Ayvalık Saltern is located at a 11 km of distance from the district of Ayvalık, 9 km from the town of Altınova and 8 km from the town of Küçükköy where it resides within the borders of the town, and it is not surrounded by any industrial sites. There are a motel and a private hotel owned by the saltern establishment in the east of the saltern, 2 small-sized breeding farms in its north, an olive grove in its west and the İzmir-Çanakkale highway and the Aegean Sea next to it in its south. The İzmir-Çanakkale highway, that passes from the south of the saltern in adjacency, goes on towards the west by an approximately 3-4 km of distance and towards the north next. As a result of the analyses that were carried out on all plants and their growth soils, the Cu concentrations were found to be very low.

In Ref. [16] showed that the toxic limit of Cu in the dry matter of plants was a maximum of 40 ppm. In Ref. [17] reported that exceeding the concentrations of 100 ppm in the soil and 15-30 ppm in the plant dry matter would result in toxic effects. Considering the levels of heavy metals in plant parts in general, it is seen that the highest accumulation was in the leaves. Likewise, studies by in Ref. [18-21] showed a significant relationship between distance to roads and levels of heavy metals in plant leaves. Separate analysis and interpretation of both plants and their growth soils revealed the ranges of 0.003-0.925 ppm in the plant and 0.862-1.111 ppm in the soil. The accumulation rates of Cu in plant parts was in the order of root>leaves>stem. Considering that In Ref. [22] reported Cu release into the atmosphere to be caused by abrasions and rusting in alloys on brake pads and engine parts, it was a similar finding that the highest Cu concentration was found at the 5th station which is the closest to the İzmir-Çanakkale highway and in the leaves of the plants. Looking at the 12-month average values of each of the stations shown in Table 2 and Figure 2, it may be seen that the highest Cu concentration in the leaves was 0.135 ± 0.13 ppm (station 5), while the lowest value was 0.104 ± 0.13 ppm (station 4).

The Cu concentrations in the *S. prostrata* subsp. *prostrata* plant and its growth soil were much lower than the limit values. These ranges were found to be 0.004-0.896 ppm in the plant and 0.858-1.111 ppm in the soil. The concentration values of Cu in plant parts was in the order of leaves>root>stem. Considering that Novotny and Chesters (1981) reported Cu release into the atmosphere to be caused by abrasions and rusting in alloys on brake pads and engine parts, it was a similar finding that the highest Cu concentration was found at the 5th station which is the closest to the İzmir-Çanakkale highway and in the leaves of the plants. Looking at the 12-month average values of each of the stations shown in Table 3 and Figure 3, it may be seen that the highest Cu concentration in the leaves was 0.209 ± 0.26 ppm (station 5), while the lowest value was 0.150 ± 0.27 ppm (station 2). This was supported by the reports of the studies by In Ref. [23,24] that Cu concentrations will drop as the distance to roads increases.

The most important reason for the lower results of all the analyses that were conducted on the plants was that the predominant wind direction in the location of the Ayvalık Saltern is northwest (from the saltern to the highway). Furthermore, absence of any junctions or signalization on the highway that passes from the south of the saltern also prevented the pollution caused by vehicles from increasing. Moreover, important factors also include the fact that olive oil factories that may lead to polluting effects are closer to the district of Ayvalık in general, and there are no other effective industrial facilities that are close to the saltern. It was also found that there was no significant correlation between the soil and root, stem and leaf heavy metal levels and precipitation or wind.

In both plant species, the Cu accumulation increased in relation to the distance to the highway. The concentrations of Cu were higher in *H. portulacoides* than *S. prostrata* subsp. *prostrata* consequently, finding all heavy metal values to be lower than the limit values showed that the Ayvalık Saltern was built at a highly clean location. Considering the significant proportion of using the salt that is produced at the saltern in the food industry and those plants such as *H. portulacoides* that naturally grow here are consumed as food, it is clearly and crucially important to preserve the saltern's non-polluted status. This is why it is believed to be important to prohibit secondary developments and industrialization around the saltern and act very responsibly while

preparing the Environmental Impact Assessment Reports of facilities that are to be built in the area. This study will provide a significant contribution to the literature in terms of being the first heavy metal study that was conducted on the halophytic plants in the region.

Acknowledgements

We wish to thank Scientific Investigation Project to Coordinate of Celal Bayar University (Project No. FEF 2009-035) for financial support.

References

- [1] Merlini, M., Some Considerations on Heavy Metals in the Marine Hydrosphere and Biosphere, **Thalassia Jugoslavica**, 16(2-4), 367-376, (1980).
- [2] Engel, D. W., Sunda, W., Fowler B. A., Factors affecting trace metal uptake and toxicity to estuarine organisms. I. Environmental Parameters, **Biological Monitoring of Marine Pollutants**, 127-144, (1981).
- [3] Zengin, F. K., Munzuroğlu, Ö., Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. Strike) klorofil ve karotenoid miktarı üzerine bazı ağır metallerin (Ni⁺², Co⁺², Cr⁺³, Zn⁺²) etkileri, **Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 17, 164-172, (2005).
- [4] Seaward, M. R. D., Richardson D. H. S., **Atmospheric sources of metal pollution an effects on vegetation**. In:SHAW A.J. editors. Heavy metaltolerance in plants. 75-92, (1989).
- [5] Nedelkoska, T. V., Doran, P. M., Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining, **Mineral Engineering**, 13, 549-561, (2000).
- [6] Öztürk, M., Türkan, İ., Heavy metal accumulation by plants alongside the motor roads. **Plants as biomonitors**, 640-650, (1993).
- [7] Nuhuğlu, Y., Malkoç, E., Gürses, A., Canpolat, N., Removal of Cu (II) from aqueous solution by *Ulothrix zonata*. **Bioresource Technology**, 85, 3, 331-333, (2002).
- [8] Motto, H. L., Danies, R. P., Motto C. K., Lead in soils and plants; its relationship so traffic volume and proximity so highways, **Environmental Science & Technology**, 4, 231-237, (1970).
- [9] Zengin, F. K., Munzuroğlu, Ö., Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kurşun (Pb⁺⁺) ve Bakır (Cu⁺⁺)'ın Etkileri. **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 17, 1-10, (2004).
- [10] Phalsson, A. M. B., Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. **Water, Air, & Soil Pollution**, 47, 287-319, (1989).
- [11] Reboreda, R., Caçador, I., Copper, zinc and lead speciation in salt marsh sediments colonised by *Halimione portulacoides* and *Spartina maritima*. **Science Direct, Chemosphere**. 69, 1655-1661, (2007).
- [12] Válega, M., Lillebø, A. I., Caçador, I., Pereira, M. E., Duarte, A. C., Pardal, M. A., Mercury in salt marshes ecosystems: *Halimione portulacoides* as biomonitor. **Science Direct, Chemosphere**, 72, 1224-1229, (2008).
- [13] Almedia, R. M. C., Dias, C. A., Mucha, P. A., Bordalo, A. A., Vasconcelos, S. D. T. M., Study of the influence of different organic pollutants on Cu

- accumulation by *Halimione portulacoides*, **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 627-632, (2009).
- [14] Kılıç, M., Ay, G., Koçbaşı, F., Mungan, F., Karabaş, M., Dikicioğlu, R., Kardaş, T., Ayvalık Tuzlasında *Halimione portulacoides* (L.) Aellen Bitkisi Kullanılarak Nikel Düzeyinin Belirlenmesi, **Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi**, 2, 2, 16-23, (2011).
- [15] UNEP. Sampling of selected marine organisms and sample preparation for trace metal analysis, **Reference Methods for Marine Pollution Studies**, 7, 2, 15, (1984).
- [16] Chang, C. C., Vander Mallie, R. J., Garvey, J. S., A radioimmunoassay for human metallothionein. **Toxicology and Applied Pharmacology**, 55, 94-102, (1980).
- [17] Sossé, B. A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L. M., Epron, D., Badot, P.M., Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents, **Plant Science**, 166, 1213-1218, (2004).
- [18] Tam, N. F. Y., Liu, W. K., Wong, M. H., Wong, Y. S., Heavy metal pollution in roadside urban parks and gardens in Hong Kong, **The Science of The Total Environment**, 59, 325-328, (1987).
- [19] Caselles, J., Levels of lead and other metals in *Citrus alongside* a motor road. **Water, Air & Soil Pollution**, 105,(3-4), 593-602, (1998).
- [20] Bu-Olayan, A. H., Thomas, B. V., Biomonitoring Studies on The Lead Levels in Mesquite (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) in The Arid Ecosystem of Kuwait. **Kuwait Journal of Science & Engineering**, 29,1, 65-73, (2002).
- [21] Çelik, A., Kartal, A. A., Akdoğan, A., Kaska, Y., Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinio pseudo-acacia* L. **Environmental International**, 31,1, 105-112, (2004).
- [22] Novotny, V., Chesters, G., **Handbook of nonpoint pollution, sources and management**, Van Nostrand-Reinhold Publishers: New York, (1981).
- [23] Ndiokwere, C. L., A study of heavy metal pollution from motor vehicle emissions and its effect on roadside soil, vegetation and crop in Nigeria, **Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical**, 7, 1, 35-42, (1984).
- [24] Ho, Y. B., Tai, K. M., Elevated Levels of Lead and Other Metals in Roadside Soil and Grass and Their Use to Monitor Aerial Metal Depositions in Hong Kong, **Environmental Pollution**, 49, 1, 37-51, (1988).

Çekişmeli üretken ağ modellerinin görüntü üretme performanslarının incelenmesi

Gaffari ÇELİK^{1,*}, Muhammed Fatih TALU²

¹Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Tek. Böl., Ağrı.
²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya.

Geliş Tarihi (Received Date): 22.04.2019
Kabul Tarihi (Accepted Date): 10.07.2019

Öz

Derin öğrenme alanında yaşanan en önemli gelişmelerden biri, hiç şüphesiz çekişmeli üretken ağ (Generative adversarial network-GAN) modelleridir. GAN olarak anılan bu modeller, görüntü veri kümesinin genişletilmesinde (image augmentation), resim/karikatür boyamada (painting), yüksek çözünürlüğe sahip süper görüntü elde etmede, bir görüntüdeki doku/desenin başka bir görüntüye transferinde kullanılan en modern yaklaşımlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılan GAN modellerinin (cGAN, DCGAN, InfoGAN, SGAN, ACGAN, WGAN-GP, LSGAN), gerçek görüntülere çok benzeyen sentetik görüntüleri üretmedeki performansları incelenmiştir. Çalışmanın orijinalliği, cGAN ve DCGAN'ın avantajlarını barındıran hibrit bir GAN modeli (cDCGAN) geliştirilmesi ve GAN yöntemlerinin performansları, derin öğrenme tabanlı evrimsel sinir ağları(CNN) ile kıyaslamalı olarak değerlendirmesidir. Kodlanan modellerle veri kümelerindeki görüntülere benzer sentetik görüntüler üretilmiştir. Üretilen sentetik görüntülerin mevcut görüntülere benzerliklerini hesaplamak, böylece model performansını değerlendirebilmek için fréchet başlangıç mesafesi (FID) metriği ve CNN kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, tüm modellerin zamana bağlı görüntü üretim performansları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, LSGAN modeliyle üretilen görüntülerin yüksek sınıflandırma başarımları sağladığı, ancak DCGAN ve WGAN-GP ile daha gürültüsüz net görüntüler ürettiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çekişmeli üretken ağlar, GAN, derin öğrenme, görüntü üretimi.

*Gaffari ÇELİK, gcelik@agri.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-5658-9529>
Muhammed Fatih TALU, fatihtalu@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1166-8404>

Investigation of generative adversarial network models' image generation performance

Abstract

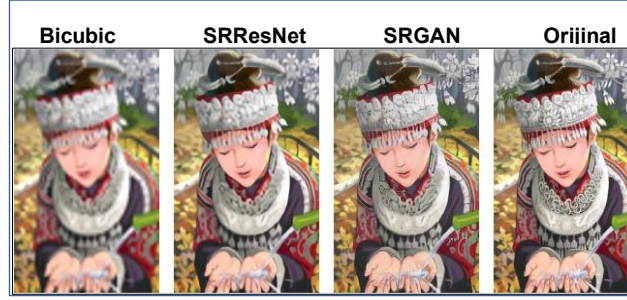
One of the most important developments in the field of deep learning is the generative adversarial network (GAN) models. These models, known as GAN, are the most modern approaches used in image editing, image/cartoon painting, high resolution super image acquisition, and the transfer of the texture/pattern in another image to another image. In this study, the performances of GAN models (cGAN, DCGAN, InfoGAN, SGAN, ACGAN, WGAN-GP, LSGAN), which are commonly used in the literature, in producing synthetic images very similar to the real images were investigated. The originality of the study is the development of a hybrid GAN model (cDCGAN) that incorporates the advantages of cGAN and DCGAN and evaluates the performances of GAN methods in comparison with deep learning based convolutional neural networks (CNN). Synthetic images similar to the images in the data sets were generated with the encoded models. Fréchet inception distance (FID) metric and CNN were used to calculate the similarity of the produced synthetic images to the existing images so as to evaluate the model performance. In the experimental studies, time-based image production performances of all models were evaluated. As a result, it was observed that the images produced by the LSGAN model provide a high classification performance rate, but with DCGAN and WGAN-GP, it produces clearer noise images.

Keywords: *Generative adversarial network, GAN, deep learning, image production.*

1. Giriş

Son yıllarda derin öğrenme teknikleri yapay öğrenme alanında bir çığır açmıştır [1]. Derin öğrenme, gerçek dünyadaki veri kümelerinde karmaşık yapıların öğrenildiği bir makine öğrenmesi yaklaşımı olarak ortaya çıkmıştır. Büyük ölçekli veriler kullanılarak eğitilen derin sinir ağları, görüntülerin anlamsal olarak anlaşılmasıyla ilgili olarak klasik görüntü işleme tekniklerinden önemli ölçüde daha iyi performans göstermiştir [2]. Derin öğrenme, ayrıca görüntü üretiminde büyük bir yetenek sergilemiştir [1]. Derin ağların görüntü üretebilen ilk modeli 2014 yılında Goodfellow [3] tarafından önerilmiştir. Çekişmeli üretken ağlar olarak adlandırılan bu üretken modeller İngilizce yazılışının baş harfleriyle “GAN” anılmaktadır. Klasik derin ağ mimarilerinden farklı olarak bir üretici (generative, G) ve bir ayırıcı (discriminator, D) olmak üzere iki farklı derin ağa sahiptir ve bu iki ağın çekişmeli olarak çalışmasıyla öğrenme işlemini gerçekleştirir. Ayırıcı derin ağ, sentetik olarak üretilen görüntüler (sahte) ile veri tabanındaki görüntüleri (gerçek) birbirinden ayırt etmeye çalışırken; üretici derin ağ, giriş olarak aldığı bir gürültü sinyalinden veri tabanındaki görüntülere benzer görüntüler üretmeye çalışmaktadır. Ancak üretilen görüntüler gerçekmiş gibi ayırıcıyı kandırmaya çalışır. Her iki ağ da paralel olarak rekabetçi bir şekilde eğitilir. Bu işlemler belli bir tekrar aşamasından sonra üretici ağ gerçek görüntülere benzer yeni görüntüler üretir [3]. GAN yaklaşımları, görüntü sentezi, çözünürlük artırma, doku sentezi, video üretimi, görüntü düzenleme gibi alanlarda etkileyici sonuçlar vermiştir [1]. Örnek olarak çözünürlük artırma alanında Ledig [4]'in önerdiği SRGAN'nın klasik yaklaşımlara olan üstünlüğü açıkça görülmüştür (bak Şekil 1). Bu yaklaşım, girişte aldığı düşük

çözünürlükteki bir görüntünün netliğini bozmadan dört kat büyülterek çıkışta üretebilmiştir.



Şekil 1. Çözünürlük artırma yöntemlerin sonuçları [4].

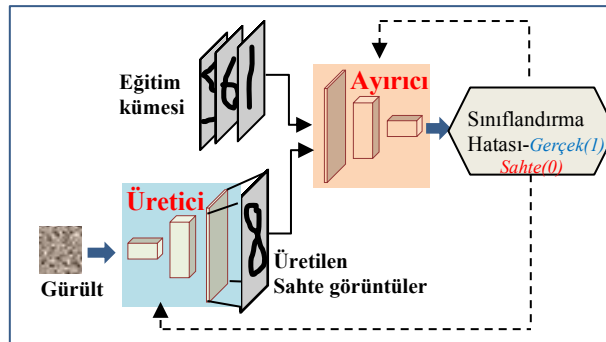
Bu çalışmada sunulan ana katkıların bir özeti aşağıda listelenmiştir:

- En sık kullanılmakta olan GAN modellerinin (cGAN, DCGAN, InfoGAN, SGAN, ACGAN, WGAN-GP ve LSGAN) Python ortamında uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu modellerin iki farklı görüntü veri tabanı görüntülerine benzer yeni görüntüler üretme performansları incelenmiştir.
- Hibrit bir GAN modeli (cDCGAN) önerilmiştir. Böylece cGAN ve DCGAN modellerinin avantajları tek bir mimaride toplanmıştır.
- Klasik GAN çalışmalarından farklı olarak bu çalışmada toplu eğitimle birlikte sınıflar ayrıştırılarak da eğitim gerçekleştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

2. GAN modeli ve güncel GAN modelleri

2.1. GAN modeli

GAN modellerinin genel mimarisinde biri üretici diğeri ayırıcı olmak üzere iki farklı derin ağ bulunmaktadır. Çekişmeli olarak çalışan bu ağlardan, üretici ağ, giriş olarak aldığı gürültü vektörü eğitim kümesindeki gerçek görüntülere benzetmeyi amaçlarken, ayırıcı ağ, sentetik üretilen görüntülerle (sahte) ve gerçek eğitim görüntüleri birbirinden ayırt etmeye çalışır [5]. Şekil 2’de geleneksel GAN mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 2. Geleneksel GAN mimarisi [6,7].

Geleneksel GAN yönteminin sözde kodu aşağıdaki gibi verilmiştir [3, 8]:

Giriş: $x^{(i)}$ gerçek görüntü örneği, $z^{(i)}$ gürültü vektörü

Çıkış: $G(z^i)$ sahte görüntü örneği

1. **For** *iterasyon_sayısı* **do**
2. **For** *adım_sayısı(k)* **do**
3. Sahte görüntüler üret $\{G(z^{(1)}), \dots, G(z^{(m)})\}$
4. Gerçek görüntüler al $\{x^{(1)}, \dots, x^{(m)}\}$
- D**'yi eğit (ağırlıkları güncelle): $\nabla_{\theta_d} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [\log D(x^i) + \log (1 - D(G(z^i)))]$
5. **end for**
6. Sahte görüntüler üret $\{G(z^{(1)}), \dots, G(z^{(m)})\}$
- G**'yi eğit (ağırlıkları güncelle): $\nabla_{\theta_g} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \log (1 - D(G(z^i)))$
7. **end for**

Algoritmada kullanılan *iterasyon_sayısı* değişkeni G ve D ağlarının kaçar defa eğitileceğini belirtmektedir. *adım_sayı* değişkeni *ToplamÖrüntüSayısı/GrupÖrüntüSayısı* ile hesaplanmaktadır. Bu sayede eğitim kümesindeki görüntüler bütün olarak kullanılmaz ve her pakette GrupÖrüntüSayısı kadar görüntü olacak şekilde eğitim gerçekleştirilir.

Ayırıcı derin ağ (D), gerçek ve sahte görüntüleri birbirinden ayıran ikili sınıflandırıcıdır (binary classifier). Bu nedenle “logistic regression” olarak bilinen ikili sınıflandırıcının maliyet fonksiyonu kullanır. Üretici ağ G sembolüyle gösterilmektedir ve $G(z^i)$ nütasyonu ile üretilen sahte görüntüler temsil edilmektedir. Üretici derin ağ, öyle görüntüler üretmek ister ki, ayırıcı üretilen sahte görüntüyü gerçeğinden ayırt edemesin [7]. Bu nedenle üreticinin ürettiği sahte görüntü gerçekmiş gibi ayırıcıya verilir ve elde edilen yüksek hata değeriyle üreticinin eğitilmesi istenir [7].

2.2. Güncel GAN modelleri

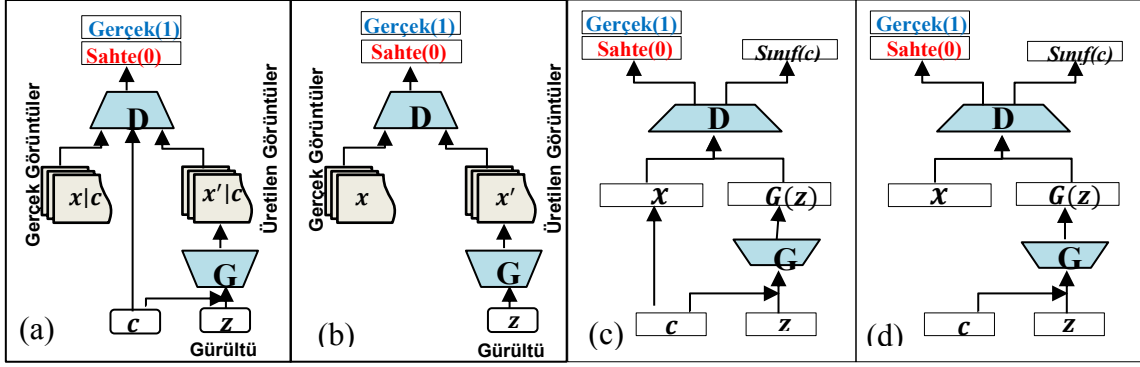
Bu bölümde çekişmeli üretken ağlar ile ilgili literatürde en sık kullanıldığını düşündüğümüz yedi farklı GAN modelinden (cGAN, DCGAN, InfoGAN, SGAN, ACGAN, WGAN-GP, LSGAN) bahsedilmektedir. Modellerin mimarilerindeki farklılıklar ön plana çıkarılmakta ve maliyet fonksiyonları ifade edilmektedir.

2.2.1. Koşullu (Conditional) GAN (cGAN)

Mimarisi Şekil 3 (a)'da gösterilen bu GAN modelinde farklı olarak üretici ve ayırıcı derin ağların girişine ek bilgi (c) verildiği görülmektedir. Böylece ayırıcı, girişindeki gerçek veya sahte görüntünün hangi sınıfa ait olduğunu bilmektedir. Ayrıca üretici gürültü verisiyle birlikte sınıf bilgisini bilerek üretme işlemine başlar [9]. Böylece amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi güncellenmiştir.

$$\min_G \max_D V(D, G) = \mathbb{E}_{x \sim p_{data}} [\log D(x|c)] + \mathbb{E}_{z \sim p_z} [\log (1 - D(G(z|c)))] \quad (1)$$

Burada c , sınıf etiketleri gibi yardımcı bilgi olabilir. $D(x|c)$ ve $G(z|c)$, sırasıyla c etiketi ile verilen görüntüyü ayırt etmemizi ve bu etikette görüntü üretilmesini sağlayan fonksiyonları ifade etmektedir.



Şekil 3. Farklı GAN mimarileri (a) cGANs [1], (b) DCGAN, (c) ACGAN [10], (d) InfoGAN [11].

2.2.2. Derin konvolüsyonel GAN (DCGAN)

Radford ve arkadaşları [12] tarafından geliştirilen DCGAN mimarisi (bak Şekil 3 (b)) üretici ve ayırıcıya bazı kısıtlamalar getirdiler. Bu kısıtlamalar:

- Havuzlama işlemi (pooling) ayırıcı ve üretici ağda kullanılmamaktadır. Görüntü daraltma işlemi ayırıcı ağda konvolüsyon işlemiyle yapılmaktadır
- Hem üretici hem ayırıcı için toplu normleştirme kullanılır
- Daha derin mimariler için tamamen bağlı gizli katmanlar kullanılmaz
- G'de çıkış katmanı hariç diğer katmalarda RELU aktivasyon fonksiyonu kullanılır
- D'nin tüm katmanlarında LeakyReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılır.

Yapılan bu kısıtlamalar ile DCGAN'ların eğitimde daha kararlı olduğu ve daha kaliteli görüntüler üretebildikleri, bu nedenle birçok uygulamada yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür [1].

2.2.3. Yardımcı sınıflandırıcı GAN (ACGAN)

Bu modelin ayırıcı ve üretici ağlarında log-olabilirlik dağılımı kullanılmaktadır. G giriş olarak z gürültü vektörüne ek olarak c sınıf bilgisi alır ve sahte görüntü ($X_{sahte} = G(z, c)$) üretir. ACGAN mimarisi Şekil 3 (c)'de verilmiştir. Ayırıcı $L_C - L_S$ 'yi, üretici ise $L_C + L_S$ 'yi maksimum yapmak için eğitilmektedir [13].

$$L_S = E[\log P(S = gercek | X_{gercek})] + E[\log P(S = sahte | X_{sahte})] \quad (2)$$

$$L_C = E[\log P(C = c | X_{gercek})] + E[\log P(C = c | X_{sahte})] \quad (3)$$

L_S , imgeler üzerindeki log-olabilirlik dağılımını gösterirken, L_C ise sınıflar üzerindeki log-olabilirlik dağılımını göstermektedir.

2.2.4. Bilgi GAN (InfoGAN)

Üreticinin girişine verilen gürültü vektörüne gizli kod veya ek bilgi (c) eklenmektedir. InfoGAN mimarisi Şekil 3 (d)'de verilmiştir. Üretici, gürültüye ve c 'ye dayalı örnekler üretir. Üretici fonksiyonu $G(z)$ yerine $G(z, c)$ kullanılır. Maliyet fonksiyonu c 'ye bağlı olarak, üretilen sentetik görüntü arasında maksimum karşılıklı bilgiyi (I) elde etmeye dayanır [11]:

$$\min_G \max_D V_{\text{InfoGAN}} = V_{\text{GAN}}(D, G) - \lambda I(c; G(z, c)) \quad (4)$$

$$V_{\text{GAN}}(D, G) \equiv \mathbb{E}_{x \sim p_{\text{data}}} [\log D(x|c)] + \mathbb{E}_{z \sim p_z} [\log (1 - D(G(z|c)))] \quad (5)$$

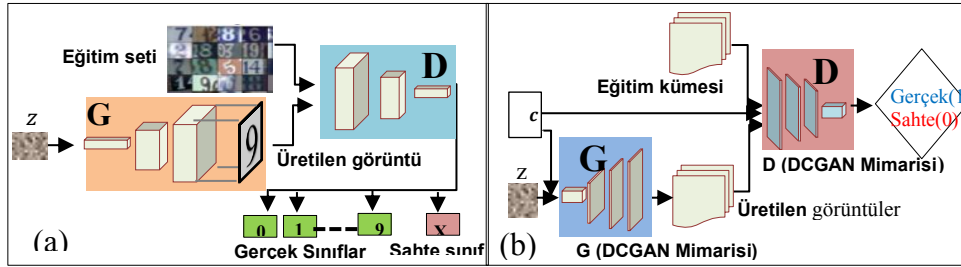
Klasik GAN modelinde G , ek bilgi(c)'ye bağlı olarak istenilen bilgideki görüntüyü üretemezler. Böyle bir problemin üstesinden gelmek için c ile G 'nin üreteceği görüntü($G(z, c)$) arasında karşılıklı bilgi(I)'ye ihtiyaç vardır. $I(c; G(z, c))$ değerinin yüksek çıkması istenir. I değeri *entropi*(H) kullanarak tahmin edilebilir [11].

$$I(c; G(z, c)) = H(c) - H(c|G(z, c)) \quad (6)$$

$I(c; x)$, c biliniyorsa, x 'i ne kadar bildiğimizi ölçer. x tahmin edilen c ile tamamen alakasızsa, $I(c; x)$, 0'a eşittir. D , c 'yi doğru tahmin ederse, I değeri yüksek çıkacağından maliyet düşürecektir. InfoGAN ekstra bir hiper-parametre(λ) getirirse de, basit gizli kodlar için 1 değeri verilmelidir.

2.2.5. Yarı eğitici GAN (SGAN)

Bu modelde ayırıcı ağın son katmandaki aktivasyon fonksiyonu değiştirilir. Klasik ayırıcı ağ, giriş olarak aldığı görüntüden bir olasılık değeri üreten, yani tek bir sigmoid fonksiyonla biten bir ağıdır. Ancak SGAN'ın çıkış katmanı gerçek ve sahte sınıfların tamamı için çıkışlar üreten bir softmax katmanına sahiptir[14]. SGAN mimarisi Şekil 4(a)'da gösterilmektedir.



Şekil 4. GAN mimarileri (a) SGAN [15], (b) cDCGAN

2.2.6. Wasserstein GAN'ların geliştirilmiş eğitimi (WGAN-GP)

Arjovsky ve arkadaşları [16] tarafından geliştirilen bu modelin ayırıcı ve üretici ağlarının maliyet fonksiyonları aşağıdaki gibi güncellenmiştir. Ayırıcı ağın sigmoid katmanı yerine ağırlık kırpma yönteminin kullanılması, olasılık mesafesini ölçmek için Earth-Mover (EM) metriği kullanılması ve maliyet fonksiyonunda log kullanılmaması göze çarpan güncellemeler olarak karşımıza çıkmaktadır [16]:

$$L_D^{WGAN} = E[D(x)] - E[D(G(z))] \quad (7)$$

$$L_G^{WGAN} = E[D(G(z))] \quad (8)$$

WGAN, bazen sadece kötü örnekler üretebildiği görülmüştür [17]. Bu olumsuz duruma ağırlık kırpma fonksiyonunun neden olduğu anlaşılmıştır. Daha sonra ağırlık kırpma yöntemine alternatif olarak yeni bir yöntem WGAN-GP önerilmiştir. Buna göre maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde güncellenmiştir:

$$L_D = \lambda E\left[\left(\left|\nabla D\left(ax - (1 - aG(z))\right)\right| - 1\right)^2\right] \quad (9)$$

$$L_D^{WGAN-GP} = L_D^{WGAN} + L_D$$

$$L_G^{WGAN-GP} = L_G^{WGAN} \quad (10)$$

Burada a ve λ hiper parametrelerdir. Bu parametrelerin varsayılan değerler olarak $a = 0.0001$, $\lambda=10$ verilmelidir.

2.2.7. En az kareler GAN (LSGAN)

Ayırıcıyı bir sınıflandırıcı olarak gören GAN'larda hata fonksiyonu olarak Sigmoid Cross Entropy (SCE) fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon yardımıyla üretici güncellenirken, bazı örnekler için gradyan bilgisi yok olmaktadır. Çözüm olarak SCE yerine en az kareler yaklaşımı önerilmiştir [18]. Buna göre maliyet fonksiyonları aşağıdaki gibi güncellenmektedir.

$$\min_D V_{LSGAN}(D) = \frac{1}{2} \mathbb{E}_{x \sim p_{data}(x)} [(D(x) - b)^2] + \frac{1}{2} \mathbb{E}_{z \sim p_z(z)} [(D(G(z)) - a)^2] \quad (11)$$

$$\min_G V_{LSGAN}(G) = \frac{1}{2} \mathbb{E}_{z \sim p_z(z)} [(D(G(z)) - c)^2] \quad (12)$$

Burada c , üreticinin ayırıcıyı sahte verilere inanmasını istediği değeri belirtir. a ve b , sahte ve gerçek veriler için kullanılan etiketlerdir [18].

2.2.8. Koşullu derin konvolüsyonel GAN (cDCGAN)

Geliştirilen hibrit GAN mimarisidir. cGANs ve DCGAN'nın avantajlarını içermektedir. Yapılan uygulamalarda cGAN ile üretilen görüntüler sınıflandırılabilen ancak görüntünün düşük kalite çözünürlüğe sahip olmaktadır. cGAN'nın aksine DCGAN daha kaliteli görüntüler üretebilmektedir, ancak belirli bir sınıf görüntünün üretimi gerçekleştirilememektedir. Her iki modelin avantajları birleştirilerek belirli bir sınıfta yüksek çözünürlükte görüntü üretebilme fikri cDCGAN hibrit modelini ortaya çıkarmıştır. Geliştirilen modelinin mimarisi Şekil 4(b)'de verilmiştir.

cDCGAN maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\max_D V_{cDCGAN}(D) = \mathbb{E}_{x \sim p_{data}} [\log D(x|c)] + \mathbb{E}_{x \sim p_z} [\log (1 - D(G(z|c)))] \quad (13)$$

$$\min_G V_{cDCGAN}(G) = \mathbb{E}_{x \sim p_z} [\log (1 - D(G(z|c)))] \quad (14)$$

Burada c , sınıf etiketi(ek bilgi). $D(x|c)$, c etiketi ile verilen görüntüyü ayırt etmemizi, $G(z|c)$, bu etikette görüntü üretilmesini sağlayan fonksiyonlardır. cDCGAN modeli aynı zamanda DCGAN modelinde yapılan kısıtlamalar göz önünde bulundurularak inşa edilmiştir.

3. Deneysel çalışmalar

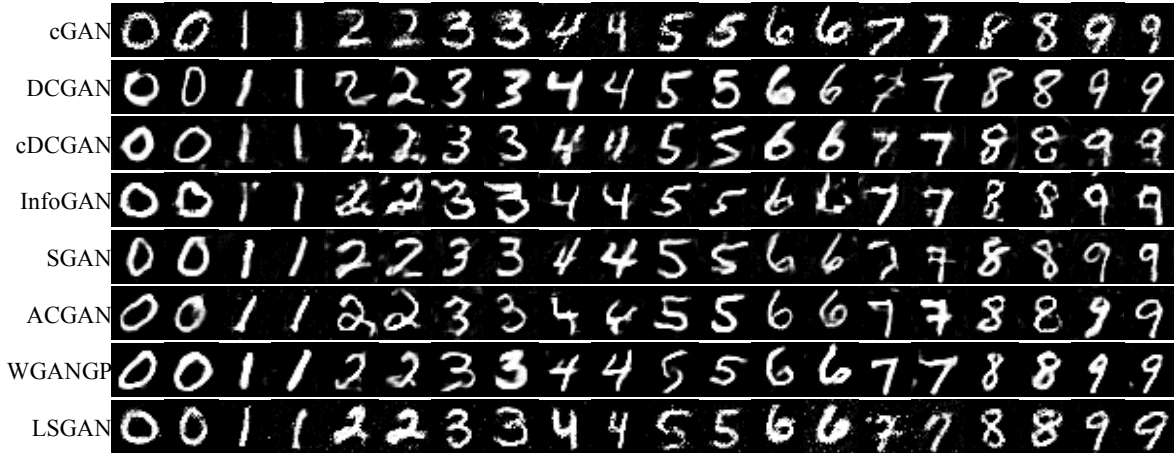
GAN modellerinin görüntü üretim performanslarını analiz edebilmek için MNIST ve Fashion-MNIST veri kümeleri kullanılmıştır. Her iki veri kümesinde 10 sınıf ve her

sınıfta yaklaşık 6.000 olmak üzere toplam 60.000 görüntü bulunmaktadır. Üretilen sentetik görüntülerin gerçek görüntülere ne kadar benzediğini hesaplayabilmek için FID benzerlik metriği ve CNN tabanlı bir sınıflandırma modeli kullanılmıştır. FID benzerlik metriği aşağıdaki gibidir:

$$FID(x, g) = \left\| \mu_x - \mu_g \right\|_2^2 + Tr \left(C_x + C_g - 2(C_x C_g)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (15)$$

Burada (μ_x, C_x) ve (μ_g, C_g) , sırayla gerçek ve sentetik görüntünün ortalama ve kovaryans değerlerini göstermektedir [19]. Sentetik görüntü gerçeğine çok yakınsa FID metriği 0'a yakın, çok uzaksa 1'e yakın çıkmaktadır. Gerçek/sentetik görüntü benzerliğini hesapladığımız diğer yöntemde ise MNIST veri kümesiyle eğitilmiş (doğruluk %99,1) bir CNN ağı kullanılmaktadır. CNN, bilgisayar görme alanındaki yüksek boyutlu verileri öğrenmeye yönelik bir derin öğrenme yöntemidir [20]. Buna göre yeni üretilen sentetik bir görüntü eğitilmiş CNN ağına verilerek çıkış kümesindeki doğruluk oranına bakılmaktadır. Üretilen bir sentetik görüntünün herhangi bir sınıfa yüksek doğrulukla atanması üretim işleminin kalitesini ortaya koymaktadır.

MNIST ve Fashion-MNIST veri kümeleri kullanılarak yapılan iki uygulamada da adadelta(lr=1.0, rho=0.95) optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, zaman içerisinde sadece birinci dereceden bilgiyi kullanarak dinamik olarak adapte olur ve rastgele dereceli iniş(stochastik gradient descent) ötesinde minimum hesaplama ek yüküne sahiptir [21]. Eğitim işlemi 128 örnekli(batch) olarak yapılmıştır. İlk uygulamada, GAN modellerinin MNIST görüntülerini üretebilme kabiliyeti incelenmiştir. GAN modelleri her sınıf için ayrı ayrı eğitilmiştir. Eğitim süresi 12 dk. tutulmuştur. Eğitim sonrası her modelin sınıfların her biri için 100 görüntü üretmesi istenmiştir. Üretilen sentetik görüntü örnekleri Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. GAN modelleriyle üretilen MNIST görüntü örnekleri.

Üretilen 100 adet sentetik görüntüyle, eğitim kümesindeki 100 adet gerçek görüntü arasındaki FID benzerlik değerleri Tablo 1. (sol)'da verilmiştir. Bu sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi için tablonun son satırında gerçek görüntüler (100 adet) arasındaki FID benzerlik oranları verilmiştir. Bu satırdaki FID değerlerinin yüksek çıkması veri kümesi içerisindeki veri çeşitliliğinin bir göstergesidir. Normalde FID benzerlik oranının düşük çıkması görüntüler arasındaki benzerliğin yüksek olduğunu anlamına gelir. Ancak gerçek görüntülerin bile kendi aralarında bir benzerlik hatası vermesi nedeniyle bu hata değeri (offset) genel FID sonuçlarından çıkarılmış ve Tablo 1 (sağ)'da

ki sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar içerisinde maksimum değere sahip olan modelin en benzer görüntü ürettiği yargısına varılmıştır. Buna göre, (1, 4, 7, 9) sınıflarında LSGAN, (2, 8) sınıflarında cGAN, (3, 5) sınıflarında cGAN ve LSGAN, (0) sınıfında InfoGAN ve cGAN en benzer görüntüleri üretmiştir.

Tablo 1. GAN modellerinin görüntü üretme sonuçları (FID benzerlik değerleri).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
cGAN	4.6	4.1	4.0	3.0	3.2	3.1	3.5	3.8	3.4	3.2	0,5	0,2	0,9	0,3	0,6	0,2	0,0	0,3	0,3	0,2
DCGAN	3.9	3.9	2.9	2.8	2.7	2.8	2.8	3.5	2.9	2.8	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,7	0,0	0,0	0,1
cDCGAN	3.9	3.7	3.1	2.6	3.5	2.7	3.4	4.2	2.8	3.0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,8	0,1	0,1	0,7	0,2	0,0
InfoGAN	3.5	3.4	2.9	2.4	2.6	2.6	3.1	3.6	2.8	2.6	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4
SGAN	3.6	3.6	2.8	2.6	2.6	2.7	3.2	3.5	2.7	2.7	0,4	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,3	0,2
ACGAN	4.1	3.8	2.9	2.4	2.9	2.7	3.3	3.3	3.0	2.8	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
WGAN-GP	3.9	4.0	2.9	2.8	3.0	2.9	3.3	3.6	2.9	3.1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1
LSGAN	4.0	4.4	3.2	3.0	3.5	3.1	3.6	4.3	3.2	3.5	0,0	0,6	0,1	0,3	0,9	0,2	0,0	0,8	0,1	0,5
MNIST	4.0	3.8	3.1	2.6	2.6	2.8	3.5	3.5	3.0	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FID benzerlik metriği ile elde edilen bu sonuçların sağlamlasını yapmak için CNN tabanlı bir benzerlik ölçme metriği kullanılmıştır. Üretilen her bir görüntü eğitilmiş CNN ile sınıflandırılmak istenmiştir. Sınıflandırmanın doğru veya yanlış olmasına göre Tablo 2’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Başarı oranı denklem 16’ya göre hesaplanmıştır:

$$Başarı(GAN_i) = \left(1 - \frac{Hata(GAN_i)}{\sum_j Hata(GAN_j)}\right) * 100 \quad (16)$$

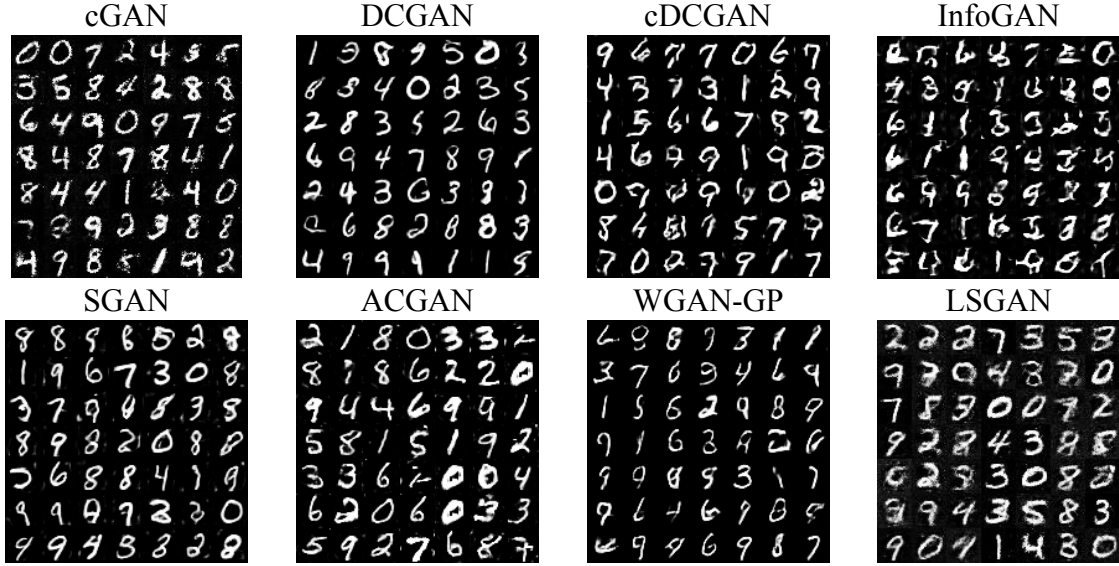
Tablo 2’de 0-9 sütunlarındaki rakamlar sınıflandırma işleminde başarısız olan görüntü sayısını ifade etmektedir. Buna göre, LSGAN kullanılarak üretilen 10 sınıf görüntünün 8 sınıfı hatasız sınıflandırılabilmiştir. cDCGAN modelinin ise 5 sınıfta hatasız ve bazı sınıflarda (8 gibi) diğer modellerden daha iyi sonuç verdiğini görülmüştür.

Tablo 2. Üretilen görüntülerin CNN kullanılarak sınıflandırılması (rakamlar yanlış sınıflandırılan görüntü sayısını göstermektedir).

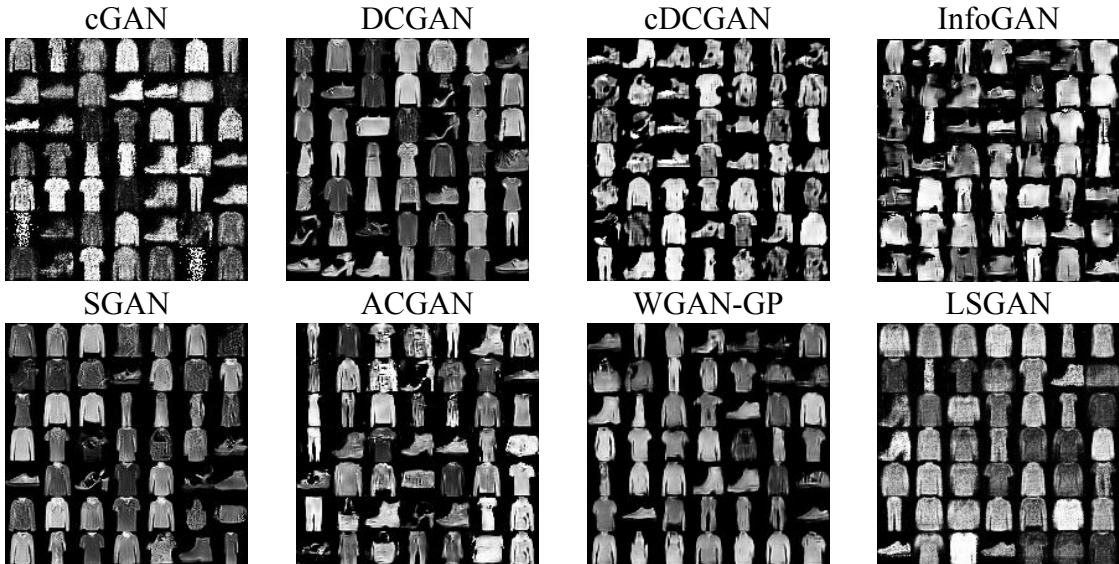
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hata	Başarı
cGAN	0	0	3	2	2	0	2	0	3	2	14	90,60
DCGAN	0	0	0	3	0	2	0	1	2	1	9	93,96
cDCGAN	0	0	2	4	0	3	0	5	0	15	29	80,54
InfoGAN	0	0	4	1	3	2	2	1	15	12	40	73,15
SGAN	0	1	1	2	4	0	1	3	2	6	20	86,58
ACGAN	1	0	1	2	2	1	0	1	0	4	12	91,95
WGAN-GP	1	0	2	1	4	2	1	3	2	5	21	85,91
LSGAN	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	4	97,32
	Toplam Hata										149	

İkinci uygulamada üretken modellerin toplu eğitim yapıldığındaki sonuçları incelenmiştir. Önceki uygulamada her bir sınıf için eğitim işlemi ayrı yapılırken, bu uygulamada sınıfların tamamı toplu bir şekilde eğitilmiştir. Eğitim işlemi MNIST ve Fashion MNIST veri kümelerinde gerçekleştirilmiş ve toplam 90 dk. sürmüştür. Eğitim sonrası modeller tarafından üretilen sentetik görüntüler Şekil 6 ve Şekil 7’de

gösterilmiştir. Şekil 6'daki sonuçlar incelendiğinde, DCGAN, SGAN ve WGANGP'nin net görüntüler ürettiği, InfoGAN, cGAN ve LSGAN'ın gürültülü görüntüler ürettiği görülmektedir. Ancak FID benzerlikleri ve CNN tanıma sonuçlarına bakıldığında LSGAN'ın en başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Yine DCGAN ve SGAN'ın karakterleri oldukça düzgün üretebildiği görülmektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi, modellerin Fashion-MNIST nesne görüntülerini üretme performansları MNIST sonuçlarıyla paralellik arz etmektedir. DCGAN ve WGANGP tarafından üretilen nesnelere oldukça net olmasına karşılık diğer GAN modellerinde gürültü seviyesi ve nesne bozulma oranı yüksektir.



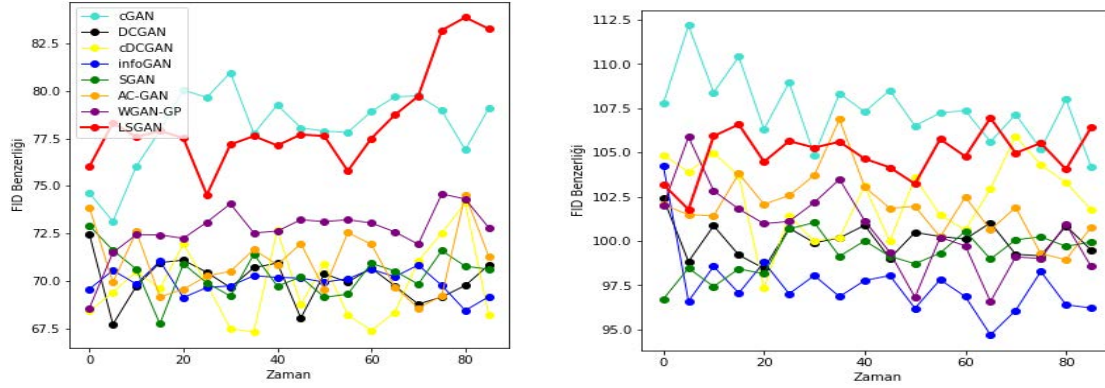
Şekil 6. Modeller tarafından üretilen sentetik MNIST görüntüleri.



Şekil 7. Modeller tarafından üretilen sentetik Fashion-MNIST görüntüleri.

Eğitim süresinin model doğruluğuna etkisini analiz etmek için 90 dk. süren eğitim işleminin 5 dk.'lık periyotlarında (toplam 18 zaman diliminde) FID benzerlik değerleri elde edilmiştir. Her bir dilim için ağırlıklar kaydedilmiş ve eğitim sonrası bu ağırlıklar kullanılarak görüntü üretilmiştir. Üretilen görüntülerin FID benzerlikleri hesaplanarak

Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 8(sol) sonuçları incelendiğinde LSGAN modelinin FID benzerlik oranı zamanla daha istikrarlı bir şekilde arttığı ve 90 dk. sonunda en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Aynı şeklin sağ grafiğindeki sonuçlarda da LSGAN modelinin 90 dk. sonunda en yüksek benzerlik değeri verdiği görülmüştür. Sonuç olarak yapılan iki deneysel çalışmada (sınıfsal ve toplu eğitim) LSGAN modelinin eğitim kümesindeki görüntüleri üretme performansının en iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 8. Modellerin farklı eğitim sürelerindeki üretme başarıları (sol) MNIST (sağ) Fashion-MNIST.

4. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada önerdiğimiz model ile birlikte sekiz farklı üretken ağ modelinin görüntü üretimindeki performansları değerlendirilmiştir. Modellerin ayrı ve toplu eğitimler sonucundaki performansları ayrı ayrı incelenmiştir. Tüm üretken modeller Python ortamında kodlanmıştır. Görüntü üretimi için MNIST ve Fashion-MNIST veri kümeleri seçilmiştir. Üretilen sentetik görüntülerin gerçek görüntülere benzerliklerinin hesaplanabilmesi için literatürde en sık kullanılan FID benzerlik metriği ve CNN kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde LSGAN modeliyle üretilen sentetik görüntülerin CNN tabanlı eğitilmiş bir derin ağla sınıflandırılması sonucunda %97.32 oranında bir başarımla elde edilmiştir. Önerilen cDCGAN modeli ise, LSGAN modelinden sonra DCGAN ile birlikte 5 sınıfta en iyi sonucu verdiği görülmüştür, ancak 9 nolu görüntü üretimindeki başarısızlığı sınıflandırma başarısını olumsuz etkilemiştir. Sonuç olarak, LSGAN modeliyle üretilen görüntülerin yüksek sınıflandırma başarımla sağladığı, ancak DCGAN ve WGAN-GP ile daha gürültüsüz net görüntüler ürettiği gözlemlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Wu, X., Xu, K. ve Hall, P., A survey of image synthesis and editing with generative adversarial networks, **Tsinghua Sci. Technol.**, 22, 6, 660–674,(2017).
- [2] Wason, R., Deep learning: Evolution and expansion, **Cognitive Systems Research**, 52, 701-708, (2018).
- [3] Goodfellow, I. J., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A. ve Bengio, Y, Generative Adversarial Networks, in **Proc. 27th Int. Conf. Neural Information Processing Systems**, 2672–2680, Montreal, (2014).

- [4] Ledig, C., Theis, L., Husz'ar, F., Caballero, J., Cunningham, A., Acosta, A., Aitken, A., Tejani, A., Totz, J., Wang, Z. ve Twitter, W. S., Photo-realistic single image super-resolution using a generative adversarial network, **017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**, 105–114, Honolulu, (2017).
- [5] Goodfellow, I., NIPS 2016 Tutorial: Generative Adversarial Networks, **arXiv:1701.00160**, (2016).
- [6] Silva, T. A, Beginner's Guide to Generative Adversarial Networks (GANs), <https://skymind.ai/wiki/generative-adversarial-network-gan>, (28.12.2018).
- [7] Langr, J. ve Bok, V., GANs in Action, **MEAP edition Manning Publications**, 350, Newyork USA, (2018).
- [8] Hua, G., Jégou, H , **Adversarial Training for Sketch Retrieval in** Creswell, A. ve Bharath, A.A., *Computer Vision – ECCV 2016 Workshops*, Springer International Publishing, 798-809, Switzerland, (2016).
- [9] Mirza, M. ve Osindero, S., Conditional Generative Adversarial Nets, **CoRR**, abs/1411.1784, 1–7, (2014).
- [10] Frid-Adar, M., Diamant, I., Klang, E., Amitai, M., Goldberger, J.ve Greenspan, H., GAN-based synthetic medical image augmentation for increased CNN performance in liver lesion classification, **Neurocomputing**, 321, 321–331, (2018).
- [11] Chen, X., Duan, Y., Houthoofd, R., Schulman, J., Sutskever, I. ve Abbeel, P., InfoGAN: Interpretable Representation Learning by Information Maximizing Generative Adversarial Nets, **In Proceedings of the 30th International Conference on Neural Information Processing Systems**, 2172–2180, Barcelona, (2016).
- [12] Radford, A., Metz, L. ve Chintala, S., Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks, **arXiv:1511.06434**, (2016)
- [13] Odena, A., Olah, C. ve Shlens, J., Conditional Image Synthesis With Auxiliary Classifier GANs., **In Proceedings of the International Conference on Machine Learning**, 2642–2651, Sydney, (2017).
- [14] Odena, A, Semi-Supervised Learning with Generative Adversarial Networks, **arXiv:1606.01583**, (2016).
- [15] Silva, T, Semi-supervised learning with Generative Adversarial Networks (GANs), (2018). <https://towardsdatascience.com/semi-supervised-learning-with-gans-9f3cb128c5e>, (25.12.2018).
- [16] Arjovsky, M., Chintala, S. ve Bottou, L., Wasserstein GAN, **arXiv:1701.07875**, (2017).
- [17] Gulrajani, I., Ahmed, F., Arjovsky, M., Dumoulin, V. ve Courville, A.C., Improved Training of Wasserstein Gans, **In Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems**, 5769–5779, Long Beach, (2017).
- [18] Mao, X., Li, Q., Xie, H., Lau, R. Y.K., Wang, Z. ve Smolley, S. P., Least Squares Generative Adversarial Networks, **2017 IEEE International Conference on Computer Vision** , 2813–2821, Venice, (2017).
- [19] Heusel, M., Ramsauer, H., Unterthiner, T., Nessler, B. ve Hochreiter, S., GANs Trained by a Two Time-Scale Update Rule Converge to a Local Nash Equilibrium, **31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)**, 6626-6637, Long Beach, (2017).
- [20] Krizhevsky, A., Sutskever, I. ve Hinton, G. E., ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks, **Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'12)**, 1097–1105, Lake Tahoe, (2012).
- [21] Zeiler, M. D., ADADELTA: An Adaptive Learning Rate Method, **arXiv:1212.5701**, (2012).

A bridge construction from Sheffer stroke basic algebras to MTL-algebras

İbrahim ŞENTÜRK*

Ege University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Izmir, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 22.04.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.10.2019

Abstract

In this study, we bridge over from Sheffer stroke basic algebras to MTL-algebras by means of defining all operations only via Sheffer stroke operation. We also give some equalities and inequalities which are used in this construction. Furthermore, we deal with construction relations between other algebraic structures as BL-algebras, MV-algebras and Gödel algebras and Sheffer stroke basic algebras.

Keywords: *Sheffer stroke basic algebras, MTL-algebras, MV-algebras, BL-algebras, Gödel algebras.*

Sheffer stroke temel cebirlerinden MTL-cebirlerine bir köprü inşası

Öz

Bu çalışmada, MTL-cebirlerini oluşturan tüm operatörleri sadece Sheffer stroke operatörü yardımıyla tanımlayarak, Sheffer stroke temel cebirlerden MTL-cebirlerine bir köprü inşası oluşturduk. Ayrıca, bu inşa süresince kullanılacak bazı eşitlikler ve eşitsizlikleri verdik. Bunun yanı sıra, BL-cebirleri, MV-cebirleri ve Gödel cebirleri gibi cebirsel yapılar ile Sheffer stroke temel cebirleri arasındaki yapı ilişkilerini de ele aldık.

Anahtar kelimeler: *Sheffer stroke temel cebirleri, MTL-cebirleri, BL-cebirleri, MV-cebirleri, Gödel cebirleri.*

1. Introduction

When we construct a structure as a mathematical model, the first thing to do is always to get rid of unnecessary expressions. For that reason, we attempt to express equivalent

* İbrahim SENTURK, ibrahim.senturk@ege.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-8296-2796>

statements as possible as with the least number of axioms or the least number of operations and so on. In the first instance, Tarski dealt with a problem which was about the least number of axioms for Abelian groups. He shown that Abelian groups can be characterized from the point of divisor operator via a single axiom [1].

By the time we analyze this reduction, we think about Sheffer stroke operation for algebraic structures. Oner and Senturk introduced a reduction of basic algebras by means of only Sheffer stroke operation which is called Sheffer stroke basic algebra [2]. Sheffer stroke basic algebras play an important role in great numbers of logics as many-valued Łukasiewicz logics, non-classical logics, fuzzy logics and etc.

Esteva and Godo introduced MTL-algebras in [3]. In recent times, the theory of MTL-algebras has been strengthened by the help of some theorems [4, 5]. Almost all these works are an important influence on algebraic structures. For instance, Vetterlein showed that most of MTL-algebras is embeddable into the positive cone of a partially ordered group [4]. He verified that an MTL-algebra is an integral, commutative, bounded, prelinear residuated lattice [5]. Furthermore, MTL-algebras are the most basis residuated structures having all algebras induced by their residua and continuous t-norms. So, MTL-algebras have an important position in working fuzzy logics and their related structures [6].

In this paper we would like to characterize MTL-algebras by means of Sheffer stroke basic algebras. In addition to this, we investigate construction relations between other algebraic structures as BL-algebras, MV-algebras and Gödel algebras and Sheffer stroke basic algebras.

2. Preliminaries

Throughout this section, we will give some definitions and lemmas about Sheffer stroke basic algebras and MTL-algebras, which are used in the rest of this paper.

2.1. Definition [7] Let L be a nonempty set. If the binary operations \wedge and \vee verify the following identities on L :

- (L₁) $u \vee v = v \vee u$ and $u \wedge v = v \wedge u$,
- (L₂) $u \vee (v \vee z) = (u \vee v) \vee z$ and $u \wedge (v \wedge z) = (u \wedge v) \wedge z$,
- (L₃) $u \vee u = u$ and $u \wedge u = u$,
- (L₄) $u \vee (u \wedge v) = u$ and $u \wedge (u \vee v) = u$,

then the algebraic structure $\mathcal{L} = (L; \vee, \wedge)$ is called a lattice.

2.2. Definition [7] An algebraic structure $\mathcal{L} = (L; \vee, \wedge, 0, 1)$ is called bounded lattice if it satisfies the following properties for each $u \in L$:

- (L_{B1}) $u \vee 1 = 1$ and $u \wedge 1 = u$,
- (L_{B2}) $u \vee 0 = u$ and $u \wedge 0 = 0$,

where 1 and 0 are said to be the greatest and the least elements of the structure, respectively.

2.3. Definition [8] Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a groupoid. If the operation $|$ satisfies the following conditions

- (S₁) $u | v = v | u,$
- (S₂) $(u | u) | (u | v) = u,$
- (S₃) $u | ((v | z) | (v | z)) = ((u | v) | (u | v)) | z,$
- (S₄) $(u | ((u | u) | (v | v))) | (u | ((u | u) | (v | v))) = u,$

then it is called Sheffer stroke operation. Furthermore, if it verifies the following identity

$$(S_5) \quad v | (u | (u | u)) = v | v$$

then it is called ortho-Sheffer stroke operation.

2.4. Lemma [9] Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a groupoid with Sheffer stroke operation. Then the following identities are satisfied for each $u, v, z \in B$:

- (i) $(u | v) | (u | (v | z)) = u,$
- (ii) $(u | u) | v = v | (u | v),$
- (iii) $u | ((v | v) | u) = v | u.$

2.5. Definition [8] Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a groupoid with Sheffer stroke operation. The relation \leq is defined on B as

$$u \leq v \text{ if and only if } u | v = v | v$$

then, it is an order on B .

2.6. Lemma [8] Let $|$ be a Sheffer stroke operation on B and \leq the order of $\mathcal{B} = (B; |)$. The following properties are satisfied:

- (i) $u \leq v$ if and only if $v | v \leq u | u,$
- (ii) $u | (v | (u | u)) = u | u$ is the identity of $\mathcal{B},$
- (iii) $u \leq v$ implies $v | z \leq u | z$ for all $z \in B,$
- (iv) $m \leq u$ and $m \leq v$ imply $u | v \leq m | m.$

2.7. Definition [2] If the algebra $\mathcal{B} = (B; |)$ satisfies the following identities

- (SH₁) $(u | (u | u)) | (u | u) = u,$
- (SH₂) $(u | (v | v)) | (v | v) = (v | (u | u)) | (u | u),$
- (SH₃) $((u | (v | v)) | (v | v)) | (z | z) | ((u | (z | z)) | (u | (z | z))) = u | (u | u)$

for each $u, v, z \in B,$ then it is called Sheffer stroke basic algebra.

We will give some fundamental properties of Sheffer stroke basic algebras.

2.8. Lemma [2] Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a Sheffer stroke basic algebra. The elements $1 \in B$ is an algebraic constant of \mathcal{B} and this structure verifies the following identities:

- (i) $u | (u | u) = 1,$

- (ii) $u | (1 | 1) = 1$,
- (iii) $1 | (u | u) = u$,
- (iv) $((u | (v | v)) | (v | v)) | (v | v) = u | (v | v)$,
- (v) $(v | (u | (v | v))) | (u | (v | v)) = 1$.

2.9. Lemma [2] Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a Sheffer stroke basic algebra. A binary relation \leq is defined on B as follows

$u \leq v$ if and only if $u | (v | v) = 1$.

Then it is a partial order on B such that $u \leq 1$ for each $u \in B$.

2.10. Definition [6] Let A be a nonempty set, the operations \vee, \wedge, \odot and \rightarrow be binary operations on A and the elements 0 and 1 be algebraic constant of B . If an algebraic structure $\mathcal{B} = (B; \vee, \wedge, \odot, \rightarrow, 0, 1)$ is satisfied the follows

- (MTL₁) $(A; \vee, \wedge, 0, 1)$ is a bounded lattice,
- (MTL₂) $(A; \odot, 1)$ is a commutative monoid,
- (MTL₃) $u \odot v \leq z$ if and only if $u \leq v \rightarrow z$,
- (MTL₄) $(u \rightarrow v) \vee (v \rightarrow u) = 1$

for any $u, v, z \in B$, then it is called an MTL-algebra.

2.11. Definition [6] Let $\mathcal{B} = (B; \vee, \wedge, \odot, \rightarrow, 0, 1)$ be an MTL-algebra. Then \mathcal{B} is called

- (i) a BL-algebra if $u \wedge v = u \odot (u \rightarrow v)$ for each $u, v \in B$.
- (ii) an MV-algebra if $(u \rightarrow v) \rightarrow v = (v \rightarrow u) \rightarrow u$ for each $u, v \in B$.
- (iii) a Gödel algebra if $u \odot u = u$ for each $u \in B$.

3. A construction of MTL-algebras by means of Sheffer stroke basic algebras

In this part of the paper, we give a construction of MTL-algebras by the help of Sheffer stroke basic algebras. For this aim, we introduce the binary operations $\vee, \wedge, \rightarrow$, and \odot only via Sheffer stroke operation. On the other hand, we deal some other algebraic structures construction as BL-algebras, MV-algebras and Gödel.

3.1. Lemma Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a Sheffer stroke basic algebra. The inequality

$$(v | z) | (v | z) \leq z$$

is verified for every $v, z \in B$.

Proof We know that $v \leq 1$ is satisfied for each $v \in B$. Therefore,

$$\begin{aligned} v \leq 1 &\Rightarrow 1 | z \leq v | z && \text{(by using Lemma 2.6 (iii))} \\ &\Rightarrow z | z \leq v | z && \text{(by using Lemma 2.8 (iii))} \\ &\Rightarrow (v | z) | (v | z) \leq (z | z) | (z | z) && \text{(by using Lemma 2.6 (i))} \\ &\Rightarrow (v | z) | (v | z) \leq z && \text{(by using Definition 2.3 (S}_2\text{)).} \quad \blacksquare \end{aligned}$$

3.2. Lemma Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a Sheffer stroke basic algebra. The inequality

$$u \leq v | (u | v)$$

is satisfied for each $u, v \in B$.

Proof From the definition of Sheffer stroke basic algebra, we have $v \leq 1$ for each $v \in B$. Then

$$\begin{aligned} v \leq 1 &\Rightarrow 1 | (u | u) \leq (u | u) | v && \text{(by using Lemma 2.6 (iii))} \\ &\Rightarrow u \leq (u | u) | v && \text{(by using Lemma 2.8 (iii))} \\ &\Rightarrow u \leq v | (u | v) && \text{(by using Lemma 2.4(ii)).} \quad \blacksquare \end{aligned}$$

3.3. Lemma Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a Sheffer stroke basic algebra. The biconditional statement

$$(u | v) | (u | v) \leq z \text{ if and only if } u \leq v | (z | z)$$

holds for each $u, v, z \in B$.

Proof (\Rightarrow :) Assume that $(u | v) | (u | v) \leq z$. Applying Lemma 2.6 (i), we have $z | z \leq ((u | v) | (u | v)) | ((u | v) | (u | v))$. By using Definition 2.3 (S_2), we get $z | z \leq u | v$ and then $v | (u | v) \leq v | (z | z)$ from the Lemma 2.6 (iii). So, by the Lemma 3.2, the inequalities $u \leq v | (u | v) \leq v | (z | z)$ are obtained. From the transitivity of \leq , we obtain $u \leq v | (z | z)$ for each $u, v, z \in B$.

(\Leftarrow :) Let $u \leq v | (z | z)$ for each $u, v, z \in B$. Then we have $v | (v | (z | z)) \leq u | v$ from the Lemma 2.6 (iii). By Lemma 2.6 (i), the inequality $(u | v) | (u | v) \leq (v | (v | (z | z))) | (v | (v | (z | z)))$ is obtained. Using Lemma 2.4 (iii), we get $(u | v) | (u | v) \leq (v | z) | (v | z)$. From Lemma 3.1, we conclude that $(u | v) | (u | v) \leq (v | z) | (v | z) \leq z$. Using transitivity of \leq , we reach $(u | v) | (u | v) \leq z$ for each $u, v, z \in B$. \blacksquare

3.4. Lemma Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a Sheffer stroke basic algebra. The following identity

$$(u | (v | v)) | ((v | (u | u)) | (v | (u | u))) = v | (u | u)$$

is satisfied for each $u, v \in B$.

Proof In Definition 2.3 (S_3), we assign $[u := u | (v | v)]$, $[v := v]$ and $[z := u | u]$ simultaneously. Then we get

$$(u | (v | v)) | ((v | (u | u)) | (v | (u | u))) = (((u | (v | v)) | v) | ((u | (v | v)) | v)) | (u | u).$$

By the commutativity of Sheffer stroke operator

$$(u | (v | v)) | ((v | (u | u)) | (v | (u | u))) = ((v | (u | (v | v))) | (v | (u | (v | v)))) | (u | u).$$

From Lemma 2.6 (ii), we obtain

$$(u | (v | v)) | ((v | (u | u)) | (v | (u | u))) = ((v | v) | (v | v)) | (u | u).$$

By using Definition 2.3 (S_2), we conclude that

$$(u | (v | v)) | ((v | (u | u)) | (v | (u | u))) = v | (u | u). \quad \blacksquare$$

3.5. Theorem Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a Sheffer stroke basic algebra. The identity

$$((v | v) | u) | u = ((u | u) | v) | v$$

is verified for each $u, v \in B$.

Proof Using the Definition 2.3 (S₂) and the Definition 2.7 (SH₂), we get

$$\begin{aligned} ((v | v) | u) | u &= ((v | v) | ((u | u) | (u | u))) | ((u | u) | (u | u)) \\ &= ((u | u) | ((v | v) | (v | v))) | ((v | v) | (v | v)) \\ &= ((u | u) | v) | v. \end{aligned} \quad \blacksquare$$

3.6. Theorem Let $\mathcal{B} = (B; |)$ be a Sheffer stroke basic algebra. If the operations are defined as

$$\begin{aligned} u \vee v &:= (u | (v | v)) | (v | v) \\ u \wedge v &:= (((v | v) | u) | u) | (((v | v) | u) | u) \\ u \rightarrow v &:= u | (v | v) \\ u \odot v &:= (u | v) | (u | v) \end{aligned}$$

then $\mathcal{B} = (B; \vee, \wedge, \odot, \rightarrow, 0, 1)$ is an MTL-algebra.

Proof

(**MTL**₁) We demonstrate that $\mathcal{B} = (B; \vee, \wedge, 0, 1)$ is a bounded lattice. First of all, we verify the lattice structure conditions.

(L₁) By the Definition 2.7 (SH₂), we get

$$u \vee v = (u | (v | v)) | (v | v) = (v | (u | u)) | (u | u) = v \vee u.$$

From the Theorem 3.5, we obtain

$$u \wedge v = (((v | v) | u) | u) | (((v | v) | u) | u) = (((u | u) | v) | v) | (((u | u) | v) | v) = v \wedge u.$$

(L₂) From the definition of \vee -operation, we have

$$(u \vee v) \vee z = (((u | (v | v)) | (v | v)) | (z | z)) | (z | z).$$

Using Lemma 2.4 (ii), we obtain

$$(((u | (v | v)) | (v | v)) | (z | z)) | (z | z) = (((u | u) | (v | v)) | (z | z)) | (z | z).$$

One more time applying Lemma 2.4 (ii),

$$(((u | (v | v)) | (v | v)) | (z | z)) | (z | z) = (z | z) | (((u | u) | (v | v)) | ((u | u) | (v | v))).$$

From the Definition 2.3 (S₃), it is obtained

$$(z | z) | (((u | u) | (v | v)) | ((u | u) | (v | v))) = (u | u) | (((z | z) | (v | v)) | ((z | z) | (v | v))).$$

Again we carry out Lemma 2.4 (ii) twice in succession,

$$(u | u) | (((z | z) | (v | v)) | ((z | z) | (v | v))) = (((z | (v | v)) | (v | v)) | (u | u)) | (u | u).$$

By the definition of \vee -operation and using (L₁), we conclude that

$$(((z | (v | v)) | (v | v)) | (u | u)) | (u | u) = (z \vee v) \vee u = u \vee (v \vee z).$$

Therefore, the equality $(u \vee v) \vee z = u \vee (v \vee z)$ is obtained for each $u, v, z \in B$.

From the definition of \wedge -operation and by Lemma 2.8 (i), we obtain $((u | u) | u) = 1$, then by substituting $u | u := u$ in Lemma 2.8 (iii), we get $(1 | u) = (u | u)$. By the help of Definition 2.3 (S₂), we have $(u | u) | (u | u) = u$. So, we attain the following equality

$$(u \wedge v) \wedge z = (((((v | v) | u) | u) | z) | z) | (((((v | v) | u) | u) | z) | z)).$$

By using Theorem 3.5 and the same method which is applied for \vee -operation in above, it is obtained

$$\begin{aligned} & (((((v | v) | u) | u) | z) | z) | (((((v | v) | u) | u) | z) | z) \\ &= (((((u | u) | v) | v) | z) | z) | (((((u | u) | v) | v) | z) | z) \\ &= (((((z | z) | v) | v) | u) | u) | (((((z | z) | v) | v) | u) | u). \end{aligned}$$

By (L₁) and the \wedge -operation definition,

$$(((z | z) | v) | v) | u | u | (((z | z) | v) | v) | u | u = (v \wedge z) \wedge u = u \wedge (v \wedge z).$$

Hence, the equality $(u \wedge v) \wedge z = u \wedge (v \wedge z)$ is satisfied for each $u, v, z \in B$.

(L₃) The following identities are obtained from the properties of Sheffer stroke basic algebra:

$$u \vee u = (u | (u | u)) | (u | u) = 1 | (u | u) = u.$$

$$u \wedge u = (((u | u) | u) | u) | (((u | u) | u) | u) = (1 | u) | (1 | u) = (u | u) | (u | u) = u.$$

(L₄) We will show that this system is satisfied absorption laws. By the definition of \wedge and \vee operations, we have

$$u \wedge (u \vee v) = u \wedge (u | (v | v)) | (v | v).$$

Substituting $[k := (u | (v | v)) | (v | v)]$ in the above equation, it is obtained

$$u \wedge k = (((k | k) | u) | u) | (((k | k) | u) | u).$$

By using Lemma 2.4 (ii) and Definition 2.3 (S₂), we obtain

$$(((k | k) | (k | k)) | u) | (((k | k) | (k | k)) | u) = (k | u) | (k | u).$$

We write $[k := (u | (v | v)) | (v | v)]$ in the last equation, then applying Definition 2.7 (SH₂)

$$\begin{aligned} (k | u) | (k | u) &= (((u | (v | v)) | (v | v)) | u) | (((u | (v | v)) | (v | v)) | u) \\ &= (((v | (u | u)) | (u | u)) | u) | (((v | (u | u)) | (u | u)) | u). \end{aligned}$$

By the Definition 2.3 (S₃) and using (S₂) twice, we obtain

$$\begin{aligned} &(((v | (u | u)) | (u | u)) | ((u | u) | (u | u))) | (((v | (u | u)) | (u | u)) | ((u | u) | (u | u))) \\ &= (u | u) | (u | u) \\ &= u. \end{aligned}$$

Hence, we get $u \wedge (u \vee v) = u$. Similarly, we obtain $u \vee (u \wedge v) = u$. Therefore, $\mathcal{B} = (B; \vee, \wedge)$ is a lattice. Furthermore, we have the following identities:

$$\begin{aligned} u \vee 1 &= (u | (1 | 1) | (1 | 1)) = 1, \\ u \vee 0 &= (u | (0 | 0) | (0 | 0)) = u, \\ u \wedge 1 &= (((1 | 1) | u) | u) | (((1 | 1) | u) | u) = u, \\ u \wedge 0 &= (((0 | 0) | u) | u) | (((0 | 0) | u) | u) = 0. \end{aligned}$$

Consequently, we verify that $\mathcal{B} = (B; \vee, \wedge, 0, 1)$ is a bounded lattice.

(**MTL₂**) We show that $\mathcal{B} = (B; \otimes, 1)$ is a commutative monoid.

Let a, b and c be elements of B . Then,

$$\begin{aligned} (u \otimes v) \otimes z &= (((u | v) | (u | v)) | z) | (((u | v) | (u | v)) | z) \\ &= (u | ((v | z) | (v | z))) | (u | ((v | z) | (v | z))) \\ &= u \otimes (v \otimes z). \end{aligned}$$

The commutativity is clear from the definition \otimes operation. As a result, $\mathcal{B} = (B; \otimes, 1)$ is a commutative monoid.

(**MTL₃**) The biconditional statement is obtained from Lemma 3.3.

(**MTL₄**)

$$\begin{aligned} (u \rightarrow v) \vee (v \rightarrow u) &= (u|(v|v)) \vee (v|(u|u)) \\ &= ((u | (v | v)) | ((v | (u | u)) | (v | (u | u)))) | ((v | (u | u)) | (v | (u | u))) \\ &= (v | (u | u)) | ((v | (u | u)) | (v | (u | u))) \\ &= 1. \end{aligned}$$

As a consequence, $\mathcal{B} = (B; \vee, \wedge, \otimes, \rightarrow, 0, 1)$ is an MTL-algebra. ■

3.7. Theorem Let $\mathcal{B} = (B; \vee, \wedge, \otimes, \rightarrow, 0, 1)$ be an MTL-algebra where the operations are defined as Theorem 3.6. Then

(i) \mathcal{B} is also a BL-algebra,

- (ii) \mathcal{B} is also an MV-algebra,
- (iii) \mathcal{B} is also a Gödel algebra.

Proof By using the Definition 2.11, we have the following conclusions.

(i) For each $a, b \in B$, we get the following equality:

$$\begin{aligned} u \wedge v &= (((v | v) | u) | u) | (((v | v) | u) | u) \\ &= (((u | u) | v) | v) | (((u | u) | v) | v) \\ &= u \odot (u \rightarrow v). \end{aligned}$$

Hence, we conclude that \mathcal{B} is also a BL-algebra.

(ii) By using Definition 2.7 (SH₂), it is obtained

$$(u \rightarrow v) \rightarrow v = (u | (v | v)) | (v | v) = (v | (u | u)) | (u | u) = (v \rightarrow u) \rightarrow u$$

for each $u, v \in B$. Thus, \mathcal{B} is also an MV-algebra.

(iii) We have $u \odot u = (u | u) | (u | u) = u$ for each $u \in B$. As a result, \mathcal{B} is also a Gödel algebra. ■

3.8. Example Let $\mathcal{B} = (\{p, q, r, s\}; |, 0, 1)$ be a Sheffer stroke basic algebra having the following Hasse diagram:

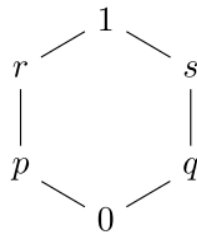


Figure 1. Hasse diagram of \mathcal{B} .

The operation on this structure is defined as the below Cayley table:

Table 1. Sheffer stroke operation on the structure \mathcal{B} .

	0	p	q	r	s	1
0	1	1	1	1	1	1
p	1	s	1	s	1	s
q	1	1	r	1	r	r
r	1	s	1	q	1	q
s	1	1	r	1	p	p
1	1	s	r	q	p	0

If the binary operations \vee, \wedge, \odot and \rightarrow are given as Theorem 3.6, the operations on \mathcal{B} have the following Cayley tables:

Table 2. Cayley tables of the binary operations \vee, \wedge, \odot and \rightarrow on the structure \mathcal{B} .

\vee	0	p	q	r	s	1	\wedge	0	p	q	r	s	1
0	1	p	q	r	s	1	0	0	0	0	0	0	0
p	p	p	1	r	1	1	p	0	p	0	p	0	p
q	q	1	q	1	s	1	q	0	0	q	0	q	q
r	r	r	1	r	1	1	r	0	p	0	r	0	r
s	s	1	s	1	s	1	s	0	0	q	0	s	s
1	1	1	1	1	1	1	1	0	p	q	r	s	1

\odot	0	p	q	r	s	1	\rightarrow	0	p	q	r	s	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
p	0	p	0	p	0	p	p	s	1	s	1	s	1
q	0	0	q	0	q	q	q	r	r	1	r	1	1
r	0	s	0	r	0	r	r	q	1	q	1	s	1
s	0	0	q	0	s	s	s	p	p	1	r	1	1
1	0	p	q	r	s	1	1	0	p	q	r	s	1

Hence, we obtain that the algebraic structure $\mathcal{B} = (\{p, q, r, s\}; \vee, \wedge, \odot, \rightarrow, 0, 1)$ is an MTL-algebra. Furthermore, \mathcal{B} is also a BL-algebra, an MV-algebra and also a Gödel algebra by the Theorem 3.7.

Acknowledgments

The author thanks the academic editor for their valuable comments and suggestions and the anonymous referees for his/her remarks which helped them to improve the presentation of the paper.

References

- [1] Tarski A., Ein beitrag zur axiomatik der abelschen gruppen, **Fundamenta Mathematicae**, 30, 253–256, (1938).
- [2] Oner, T., Senturk, I., The Sheffer stroke operation reducts of basic algebras, **Open Mathematics**, 15(1), 926-935, (2017).
- [3] Esteva F., Godo L., Monoidal t-norm based logic: towards a logic for left-continouost-norms, **Fuzzy Sets Syst.**, 124, 271-288, (2001).
- [4] Vetterlein T., MTL-algebras arising from partially ordered groups, **Fuzzy Sets Syst.**, 161, 433-443, (2010).
- [5] Noguera C., Esteva F., Gispert J., On Some Varieties of MTL-algebras, **Log. J. IGPL.**, 13, 443-466, (2004).

- [6] Wang, J., Xin, X. and Saeid, A., Very true operators on MTL-algebras, **Open Mathematics**, 14(1), 955-969, (2016).
- [7] Sankappanavar, H. P., and Stanley B., A Course in Universal Algebra, **Graduate Texts Math 78**, (1981).
- [8] Chajda I., Sheffer operation in ortholattices, **Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Facultas Rerum Naturalium Mathematica**, 44, 19–23, (2005).
- [9] Łukaszuk A., Grabowski A., Short Sheffer Stroke-Based Single Axiom for Boolean Algebras, **Formalized Mathematics**, 12, 363–370, (1975).

Farklı oranlardaki Eu_2O_3 — Li_2O — TeO_2 karışımlarının gama radyasyonu yalıtım özelliklerinin Geant4 simülasyon kodu ve WinXCOM veri yazılımı kullanılarak karakterizasyonu

Ali AŞKIN^{1,*}, Murat DAL²

¹Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

²Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Geliş Tarihi (Received Date): 02.05.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 09.09.2019

Öz

Bu çalışmada, $x\text{Eu}_2\text{O}_3$ — $(25-x)\text{Li}_2\text{O}$ — 75TeO_2 (lityum-öropiyum-tellür) ($x = \%1, \%2, \%3, \%4, \%5$ mol) camlarının gama radyasyonu kütle zayıflatma katsayıları (μ_m), gama radyasyonu transmisyonu (T), yarı değer kalınlığı (HVL) ve ortalama serbest yol (MFP) yalıtım parametreleri yüksek saflıkta germanyum ($HPGe$) dedektörünün Geant4 modeli ve WinXCOM veri tabanı kullanılarak 356 keV, 662 keV, 1173 keV, 1330 keV, 2510 keV ve 4000 keV foton enerjilerinde araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar cam örneklerinin kimyasal bileşenleri ve foton etkileşim mekanizmaları açısından değerlendirildiğinde, Öropiyum'un yüksek kütle numarası ve kimyasal formüldeki oranına bağlı olarak, %5 mol Eu_2O_3 içeren cam numunesinin gama radyasyonu yalıtım özelliklerinin %1 mol Eu_2O_3 içeren camdan yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Radyasyon yalıtımı, zayıflatma katsayısı, cam, Monte Carlo simülasyonu, Geant4.

* Ali AŞKIN, aliaskin@munzur.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-8571-3680>

Murat DAL, muratdal@munzur.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-5330-1868>

Characterization of gamma radiation shielding properties of different ratios of Eu_2O_3 — Li_2O — TeO_2 mixtures using Geant4 simulation code and WinXCOM software

Abstract

In this study, mass attenuation coefficient (μ_m), gamma transmission fraction (T), half value layer (HVL) and mean free path (MFP) of $x\text{Eu}_2\text{O}_3$ — $(25-x)\text{Li}_2\text{O}$ — 75TeO_2 (Lithium-Europium-tellurite) ($x = 1\%$, 2% , 3% , 4% , 5% moles) glasses have been investigated at the gamma ray energies of 356 keV, 662 keV, 1173 keV, 1330 keV and 2510 keV by using the Geant4 model of a high purity germanium (HPGe) detector and WinXCOM database. When the results have been interpreted, depending on the high atomic number and the fraction of Europium in the chemical formula, it was seen that the glass sample with 5% moles of Eu_2O_3 has higher radiation shielding ability compared to the glass sample with 1% mol of Eu_2O_3

Keywords: Radiation shielding, attenuation coefficient, glass, Monte Carlo simulation, Geant4.

1. Giriş

Gelişen teknolojiye bağlı olarak malzeme biliminde meydana gelen ilerlemeler yeni ve farklı yapıdaki malzemelerin sentezine imkan vermekte, buna bağlı olarak malzemelerin kullanım alanlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal mekanik, optik veya termal özelliklerinin karakterizasyonu önemli olmaktadır. Günümüzde radyoaktif izotopların nükleer reaktörler, araştırma merkezleri, hastaneler, tarım, sanayi ve arkeoloji gibi alanlarda yaygın olarak kullanılması nedeniyle, bu çalışma alanlarında kullanılacak malzemelerin radyasyon yalıtım özelliklerinin belirlenmesi, burada çalışan insanların radyasyonun zararlı etkilerine karşı korunabilmesi açısından önemlidir. Gama radyasyonunun yüksek delicilik özelliği ve uzak mesafelere ulaşabilmesi nedeniyle, yeni geliştirilen malzemelerin gama radyasyonu yalıtım kapasitelerinin belirlenmesi bu malzemelerin ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılabilirliğini belirleyecektir. Gama yalıtım özelliklerinin deneysel olarak karakterizasyonunda yaygın olarak $\text{NaI}(\text{Tl})$ sintilasyon veya yüksek saflıkta germanyum (HPGe) iyonlaşma dedektörleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, deneysel sistemlerin veya ölçümü yapılacak numunelerin bulunmadığı durumlarda, deneysel ölçüm sistemlerinin bilgisayar ortamında modellenmesi ve araştırmaların Monte Carlo simülasyonları ile gerçekleştirilmesi büyük oranda esneklik ve hız kazandırabilmektedir. Son yıllarda beton, kum, kil, tuğla, seramik, polymer ve alaşımlar gibi çeşitli doğal veya sentetik olarak üretilmiş malzemelerin radyasyon yalıtım özellikleri farklı araştırmacılar tarafından deneysel yöntemler veya Monte Carlo simülasyonları kullanılarak belirlenmiştir [1-7].

Cam malzemelerin sahip olduğu optik geçirgenlik, kolay hazırlama ve üretim avantajlarından dolayı, camların radyasyon yalıtım özelliklerinin tespiti konusu araştırmacıların günümüzde yoğunlaştığı alanlardan biri durumundadır ve camların önemli bir gama radyasyon yalıtım potansiyeline sahip olduğu farklı çalışmaların sonucunda gösterilmiştir [8-10]. Camların sahip olduğu radyasyon yalıtım özelliklerinin

açığa çıkmasıyla birlikte farklı çalışma grupları farklı kimyasal formüllere sahip camların sentezini yaparak yalıtım özelliklerini değerlendirmiştir. Eriyik soğutma tekniği kullanılarak hazırlanan ve farklı mol oranlarında PbO içeren altı farklı PbO-Li₂O-B₂O₃ camının gama yalıtım özellikleri deneysel olarak dört farklı gama enerjisinde ölçülmüştür. Kimyasal formülde yer alan PbO miktarının artırılmasının gama yalıtım kapasitesini yükselttiği çalışma sonucunda belirtilmiştir [11]. La₂O₃'ün lantan-kalsiyum-silikarbonat camlarının radyasyon yalıtımı üzerine olan etkisi 224 ile 662 keV enerji aralığındaki sekiz farklı foton enerjisi için deneysel olarak ölçülmüş ve La₂O₃ oranının artırılması ile bu camın radyasyon zayıflatma özelliğinin arttığı yayınlanmıştır [12]. Farklı mol oranlarında Bi₂O₃ ve BaO içeriğine sahip beş farklı Bi₂O₃-BaO-B₂O₃-Na₂O camı üretilerek bu cam sisteminin yapısal ve gama ışını yalıtım özellikleri Dogra vd. [13] tarafından deneysel olarak belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, cam sisteminin barit katkılı betona oranla daha yüksek kütle zayıflatma katsayısına ve daha düşük yarı değer kalınlığına sahip olduğunu göstermiştir [13]. 80TeO₂—5TiO₂—(15-x)WO₃—xA_nO_m cam sisteminin radyasyon zayıflatma özellikleri MCNP5 simülasyon yazılımı ile gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyonları ve WinXCOM veri tabanı kullanılarak bilgisayar ortamında hesaplanmıştır. Kimyasal formülde bulunan xA_nO_m molekülü için 5Er₂O₃ kullanılmasıyla nötron ve gama radyasyonu yalıtım özelliklerinin arttığı belirtilmiştir [14].

Tellür içeren camlar, düşük erime sıcaklıkları (600-800 °C) [15], görülebilir ve kızıl ötesi ışık için sahip olduğu yüksek optik geçirgenlik oranı (6 µm' ye kadar) [16], yüksek kırılma indisi (1.8-2.3), yüksek dielektrik sabiti (13-35) [17] özelliklerinden dolayı optik iletişim, lineer olmayan optik cihazlar ve güneş enerjisi panellerinin verimliliğini arttırmak için [18] yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Kumar ve Khanna [19] tarafından yeni üretilerek, yapısal, termal ve fotonik özellikleri araştırılmış olan xEu₂O₃—(25-x)Li₂O—75TeO₂ (x = %1, %2, %3, %4, %5 mol) cam sisteminin gama radyasyonu yalıtım özellikleri yüksek saflıkta germanyum (HPGe) dedektörü'nün Geant4 modeli ve WinXCOM veri tabanı kullanılarak araştırılmıştır.

2. Deneysel metot

2.1. Teorik metot

Kütle zayıflatma katsayısı, μ_m (cm² g⁻¹), gama fotonlarının madde içerisine nüfuz ve difüzyon özelliklerini tanımlayan bir parametre olup Eş. 1'de verilen Beer-Lambert yasası kullanılarak elde edilecek lineer zayıflatma katsayısı, μ (cm⁻¹) kullanılarak hesaplanabilir [9].

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1)$$

Bu eşitlikte, I_0 ve I sırası ile malzeme yüzüne gelen ve malzeme içinden geçerek dedektöre ulaşabilen yoğunluklarını, x (cm) zayıflatıcı yalıtım malzemenin kalınlığını göstermektedir. Cam malzemenin yüzeyine gelen foton yoğunluğunu (I_0) ölçebilmek için Geant4 Monte Carlo simülasyonları, gama kaynağı ve dedektör arasında malzeme kullanılmadan gerçekleştirilir. Malzeme içinden geçerek dedektöre ulaşan zayıflatılmış foton yoğunluğu ölçümü için Monte Carlo simülasyonları dedektör ve kaynak arasında kullanılan malzemenin kalınlığı değiştirilerek tekrarlanır. $\ln(I_0/I)$ oranının malzeme kalınlığına göre oluşturduğu grafikte, veri noktalarına uygulanan doğrusal fit'in eğim parametresi lineer zayıflatma katsayısına eşittir. μ_m değerinin bulunabilmesi için, μ

değeri malzemenin yoğunluğuna, ρ (g cm^{-3}), bölünür. Eş. 2 kullanılarak kütle zayıflatma katsayısı hesaplanabilir [9].

$$\mu_m = \mu/\rho \quad (2)$$

Gama radyasyonu zayıflatma özelliğini karakterize eden başka bir parametre ise gama fotonu geçirgenlik oranı (T) (transmisyon oranı) olarak tanımlanabilir. Bu parametre malzeme içinden geçebilen foton miktarının (I) malzeme yüzeyine gelen foton miktarına (I_0) oranı olarak tanımlanır ve Eş. 3'de verilen eşitlik kullanılarak hesaplanabilir [6].

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

Bir malzeme için yarı değer kalınlığı (HVL) malzeme yüzeyine gelen foton miktarını yarıya indirgeyebilmesi için gerekli olan kalınlık olup, bu parametrenin lineer zayıflatma katsayısına bağımlılığı Eş. 4'de verilmiştir [8].

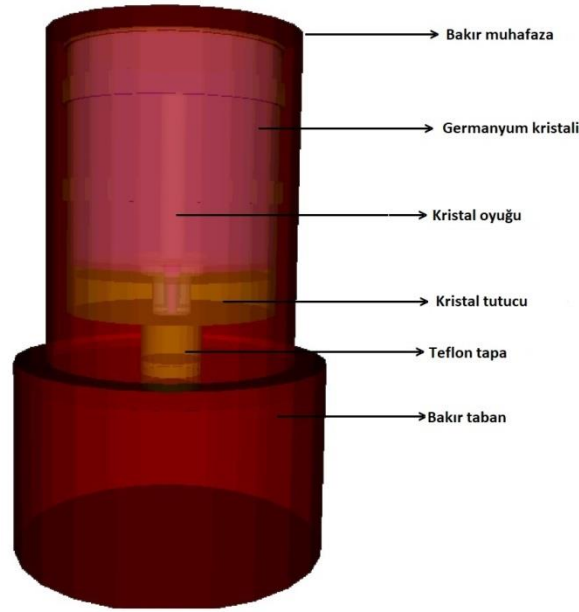
$$\text{HVL} = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (4)$$

Ortalama serbest yol (MFP) yalıtım parametresi, gama fotonunun malzeme içinde arda arda yaptığı iki etkileşim arasındaki mesafe olup Eş. 5 ile verilen formül kullanılarak hesaplanır [8].

$$\text{MFP} = \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

2.2. Monte Carlo simülasyonları

Geant4 C++ tabanlı bir Monte Carlo simülasyon yazılımı olup, nükleer fizik, parçacık fiziği, tıbbi fizik gibi fiziğin farklı alanlarında kullanılan dedektörlerin modellenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [20]. Deneysel ekipman veya ölçüm numunelerinin bulunmadığı durumlarda bir deney düzeneği için ihtiyaç duyulan dedektör geometrisi ve yapısı, ölçümü yapılacak numunelerin kimyasal özellikleri ve geometrisi ile gama fotonlarının enerjileri, yönü ve miktarı C++ kodları kullanılarak Geant4'e aktarılabilir. $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—Li}_2\text{O—}75\text{TeO}_2$ camlarının radyasyon zayıflatma özelliklerinin karakterizasyonunun yapılabilmesi amacıyla yüksek saflıkta germanyum dedektörünün yapısı ve geometrisi modellenmiştir. Bu çalışmada kullanılan HPGe dedektörü Canberra yarı iletken firması tarafından üretilmiş olup, 2.2 kg germanyum kristali iyonlaşma dedektörü olarak kullanılmıştır. Germanyum kristaline ek olarak bu dedektöre ait bakır muhafaza kabı, bakır taban, sinyal kontakları, kristalin yüzeyini kaplayan ince ölü tabaka, Kristal oyuğu ve teflon tapa gibi dedektörün yapısını oluşturan ekipmanlar gerçek geometri ve boyutlara bağlı kalınarak Geant4'e aktarılmıştır. Şekil 1 HPGe dedektörünün Geant4 modelini göstermektedir.



Şekil 1. Zayıflatma katsayılarının belirlenmesi için kullanılan HPGe dedektörünün Geant4 modeli.

Beer-Lambert yasasının ince foton demeti kullanıldığında geçerli olması nedeniyle, ince foton demeti oluşturmak ve aynı zamanda oluşabilecek sistematik hataları minimum seviyeye indirebilmek için HPGe dedektörü ve gama foton kaynağı 200 mm çapında silindirik bir kurşun muhafaza içine yerleştirilmiştir. 3 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda silindirik bir oluk her iki kurşun muhafazanın merkezinde tanımlanarak 356 keV (^{133}Ba), 662 keV (^{137}Cs), 1173 keV (^{60}Co), 1330 keV (^{60}Co), 250 keV (^{60}Co) ve 4000 keV enerjili gama fotonları için dar foton demetinin oluşması sağlanmıştır. Ölçümü yapılan $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—Li}_2\text{O—TeO}_2$ cam sistemine ait kimyasal bileşenler ve yoğunlukları Tablo 1’de verilmiştir [19]. Bu değerler kullanılarak cam numuneleri Geant4’e kodlanmış ve Şekil 2’de gösterildiği gibi gama kaynağı ile HPGe dedektörü arasına yerleştirilmiştir. Gama kaynağından yayılarak cam malzemelerin üzerine gelen foton yoğunluğunu (I_0) ölçebilmek için Monte Carlo simülasyonları dedektör ve kaynak arasında numune olmadan gerçekleştirilmiştir. Malzeme içinden geçerek dedektöre ulaşan foton yoğunluğunu ölçebilmek için dedektör ve kaynak arasında kullanılan cam malzemenin kalınlığı 1 ile 5 cm arasında değiştirilerek simülasyonlar tekrarlanmıştır.

Tablo 1. $x\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—}(25-x)\text{Li}_2\text{O—}75\text{TeO}_2$ ($x = \%1, \%2, \%3, \%4, \%5$ mol) cam sisteminin kimyasal bileşenleri ve yoğunlukları.

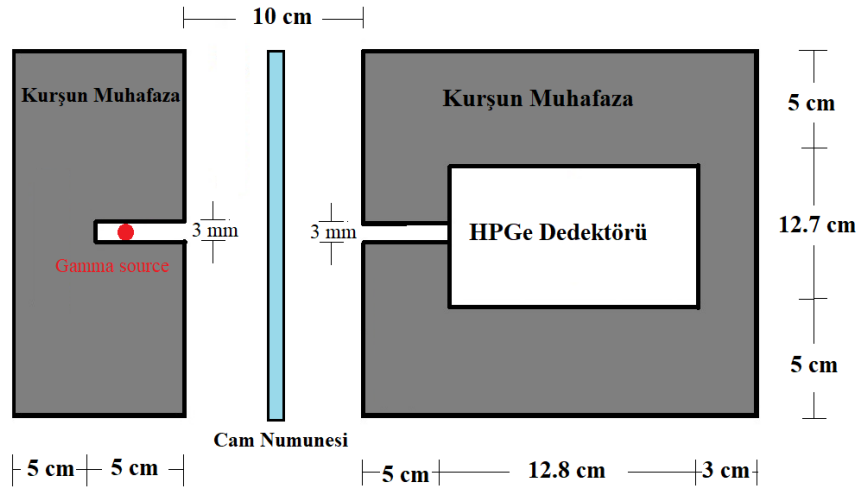
Cam kodu	Cam numunesi	Element kütle oranları (%)				Yoğunluk (gr cm^{-3})
		Li	O	Te	Eu	
ELT1	$1\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—}24\text{Li}_2\text{O—}75\text{TeO}_2$	2.55	21.71	73.39	2.33	4.95
ELT2	$2\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—}23\text{Li}_2\text{O—}75\text{TeO}_2$	2.38	21.43	71.62	4.54	4.98
ELT3	$3\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—}22\text{Li}_2\text{O—}75\text{TeO}_2$	2.23	21.16	69.94	6.66	5.04
ELT4	$4\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—}21\text{Li}_2\text{O—}75\text{TeO}_2$	2.08	20.90	68.33	8.68	5.11
ELT5	$5\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—}20\text{Li}_2\text{O—}75\text{TeO}_2$	1.93	20.65	66.79	10.60	5.21

2.3 WinXCOM veri tabanı yazılımı

WinXCOM veri tabanı herhangi bir malzemenin kütle zayıflatma katsayısını hesaplamak için kullanılabilir ve bu yazılım herhangi bir deneysel kurulum veya simülasyon kodu gerektirmez [21]. Bu program aracılığı ile μ_m değerlerinin hesaplanması için Eş. 6'da verilen karışım kuralı kullanılır [9].

$$(\mu_m)_{glass} = \sum_i^n w_i (\mu_m)_i \quad (6)$$

Bu eşitlikte w_i and $(\mu_m)_i$ sırası ile kimyasal formülde yer alan i. elementin molekül içindeki kütle oranı ve o elemente ait kütle zayıflatma katsayısıdır.



Şekil 2. Geant4 Monte Carlo simülasyon düzeneğinin şematigi.

3. Sonuçlar ve tartışma

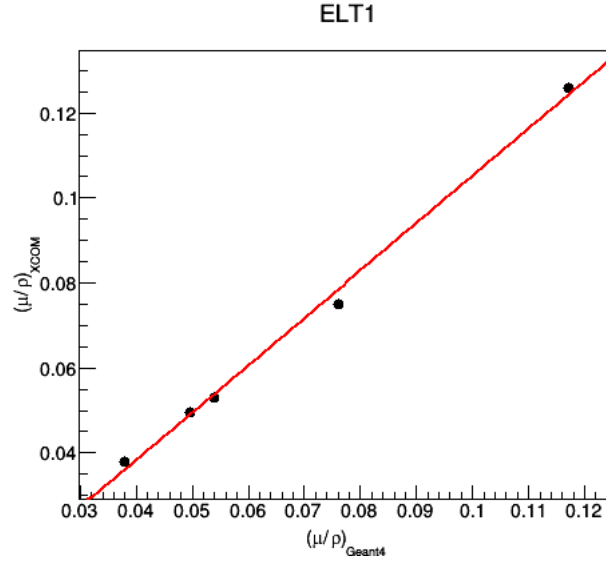
$\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—Li}_2\text{O—TeO}_2$ (ELT) cam numuneleri için Geant4 Monte Carlo simülasyonları ve WinXCOM veri tabanı kullanılarak elde edilen μ_m sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Geant4 ile elde edilen kütle zayıflatma katsayılarının WinXCOM ile karşılaştırılması.

Cam kodu	356 keV		662 keV		1173 keV		1330 keV		2510 keV		4000 keV	
	Geant 4	XCO M	Geant 4	XCO M	Geant 4	XCO M	Geant 4	XCO M	Geant 4	XCO M	Geant 4	XCO M
ELT 1	0.117	0.126	0.0761	0.0751	0.0540	0.0531	0.0495	0.0496	0.0378	0.0378	0.0339	0.0339
ELT 2	0.121	0.127	0.0762	0.0754	0.0542	0.0532	0.0497	0.0497	0.0379	0.0379	0.0341	0.0340
ELT 3	0.124	0.128	0.0762	0.0756	0.0543	0.0533	0.0499	0.0497	0.0379	0.0379	0.0341	0.0341
ELT 4	0.128	0.129	0.0766	0.0759	0.0543	0.0533	0.0500	0.0498	0.0380	0.0380	0.0342	0.0342
ELT 5	0.129	0.1300	0.0769	0.0761	0.0546	0.0534	0.0511	0.0498	0.0381	0.0381	0.0345	0.0343

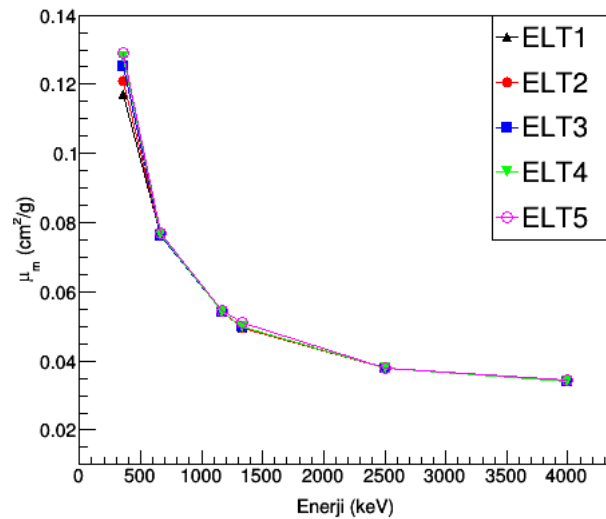
Elde edilen sonuçların uyumluluğunu belirlemek amacıyla Geant4 sonuçları (x-ekseni) WinXCOM sonuçlarına (y-ekseni) göre grafiklenmiş ve veri noktalarının bir biri ile olan korelasyon sonucuna (R^2 değeri) bakılmıştır. Şekil. 3'de ELT1 camı için elde

edilmiş korelasyon grafiği örnek olarak verilmiştir. R^2 değerleri ELT1 camı için 0.995, ELT2 camı için 0.998, ELT3, ELT4 ve ELT5 camları için 0.999 olarak bulunmuştur. R^2 değerlerinin 1'e çok yakın olması elde edilen sonuçların uyumlu olduğunu göstermektedir.



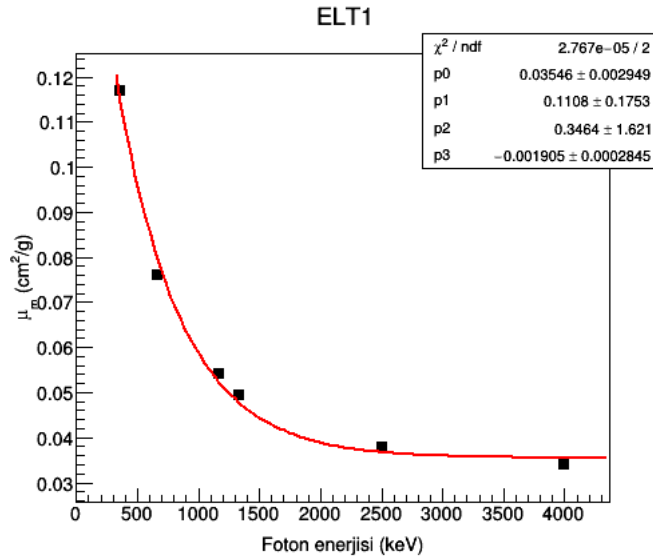
Şekil 3. ELT1 camına ait korelasyon grafiği.

ELT cam sistemi için hesaplanan μ_m değerlerinin gama fotonu enerjisine göre grafiği Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi, 356 keV enerjisinde μ_m yüksek değerlere sahip olup, 1100 keV seviyesine kadar keskin bir azalma göstermekte ve 1100 keV'nin üzerindeki enerjilerde μ_m değerleri bir birine yakın sonuçlar vermektedir. Bu durum gama enerji spektrumunun düşük, orta ve yüksek enerji bölgelerindeki fotonların madde içindeki etkileşim mekanizmalarıyla açıklanabilir düşük enerji bölgesinde foto elektrik etkileşim mekanizması baskın olup malzemenin kimyasına (malzemeyi oluşturan elementlerin atom numaralarına) büyük oranda bağlıdır. 1100 keV ve daha yüksek enerjilerde çift oluşum süreci etkin olup, etkileşim mekanizması malzemenin kimyasına çok daha zayıf bir şekilde bağlılık göstermektedir.



Şekil 4. ELT camlarına ait kütle zayıflatma katsayılarının enerjiye foton enerjisine göre değişimi.

ELT camlarının 356 keV ile 4000 keV arasındaki herhangi bir enerjide μ_m değerinin hesaplanabilmesi amacıyla $\mu_m = p_0 + p_1 \cdot \exp(p_2 + p_3 \cdot E)$ formunda 4 parametrelilikli eksponensiyel bir fit ELT camları için elde edilen μ_m değerlerine uygulanarak μ_m değerlerini istenilen enerjilerde hesaplayabilecek formüller türetilmiştir. Şekil 5’de ELT1 camına ait μ_m değerlerine uygulanan eksponensiyel fit örneği gösterilmiştir. Diğer cam numuneleri için elde edilen fonksiyonlar Tablo 3’de verilmiş olup farklı gama enerjileri fonksiyonlardan elde edilen μ_m sonuçlar, Geant4 simülasyonlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

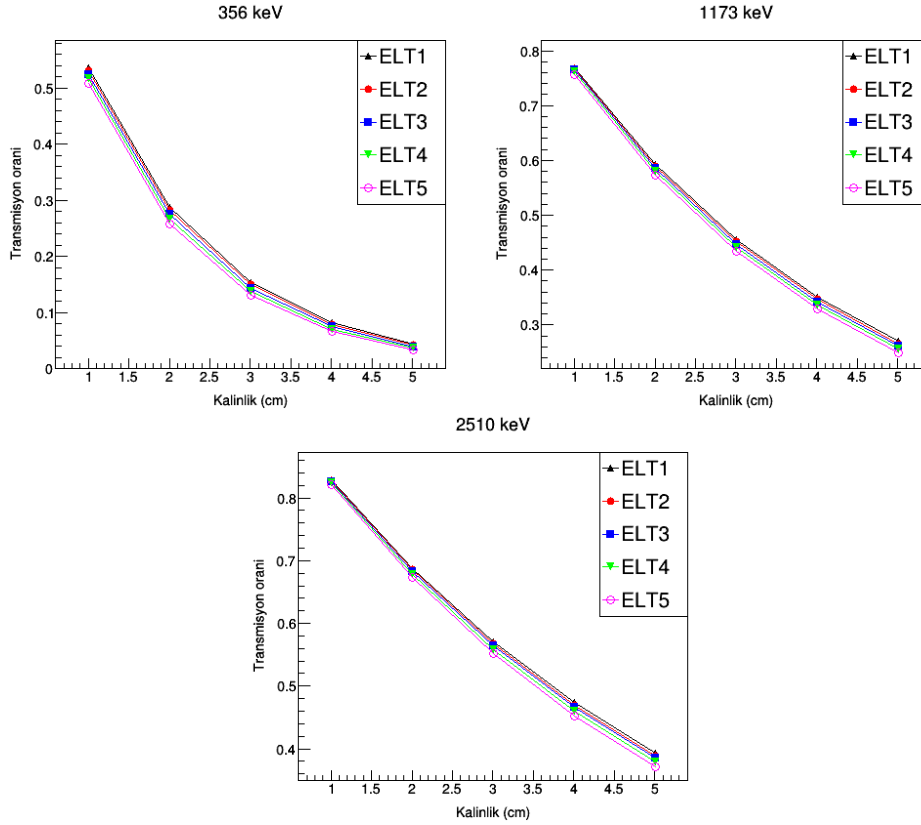


Şekil 5. ELT1 camı kütle zayıflatma katsayılarına uygulanan dört parametrelilikli üstel fit.

Tablo3. Kütle zayıflatma katsayısı (μ_m) eşitlikleri ve Geant4 sonuçları ile karşılaştırılması.

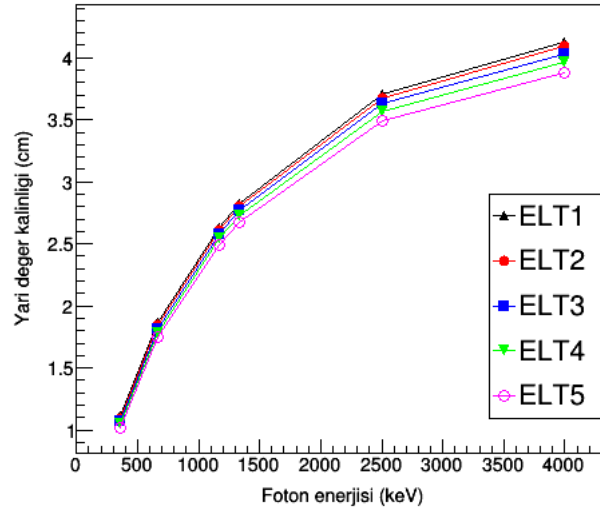
Cam	Fonksiyon	Enerji	μ_m (cm ² g ⁻¹)		Fark (%)
			Fonksiyon	Geant4	
ELT1	$\mu_m = 0.0354 + 0.110 \cdot \exp(0.346 - 0.00190 \cdot E)$	427.9 (¹²⁵ Sb)	0.104	0.109	4.6
ELT2	$\mu_m = 0.0365 + 0.116 \cdot \exp(0.409 - 0.00208 \cdot E)$	795.8 (¹³⁴ CS)	0.0698	0.0712	2.0
ELT3	$\mu_m = 0.0368 + 0.126 \cdot \exp(0.435 - 0.00220 \cdot E)$	834.8 (⁵⁴ Mn)	0.0678	0.0653	3.8
ELT4	$\mu_m = 0.0371 + 0.126 \cdot \exp(0.454 - 0.00226 \cdot E)$	1112.1 (¹⁵² Eu)	0.0531	0.0540	1.6
ELT5	$\mu_m = 0.0376 + 0.130 \cdot \exp(0.438 - 0.00229 \cdot E)$	3000	0.0378	0.0381	0.8

ELT camlarının 356, 1173 ve 2510 keV gama enerjilerindeki transmisyon oranları 1 - 5 cm cam kalınlıklarına göre grafikleri Şekil 6’da gösterilmiştir. Bir malzemenin transmisyon oranının küçük olması gama foton yoğunluğunu azaltmada etkili olduğunu göstermektedir. Verilen grafiklerde görüldüğü gibi Eu oranı en yüksek olan ELT5 camı bütün enerjilerde en düşük transmisyon oranına sahiptir. Bu durum Eu’nun sahip olduğu yüksek atom numarası ($Z = 63$) ile açıklanabilir. Yüksek enerjili gama fotonlarının malzeme içine nüfuz etme oranı düşük enerjili gama fotonlarına göre yüksek olduğu için gama enerjisi arttıkça transmisyon oranlarının arttığı bu grafiklerde açıkça görülebilmektedir.

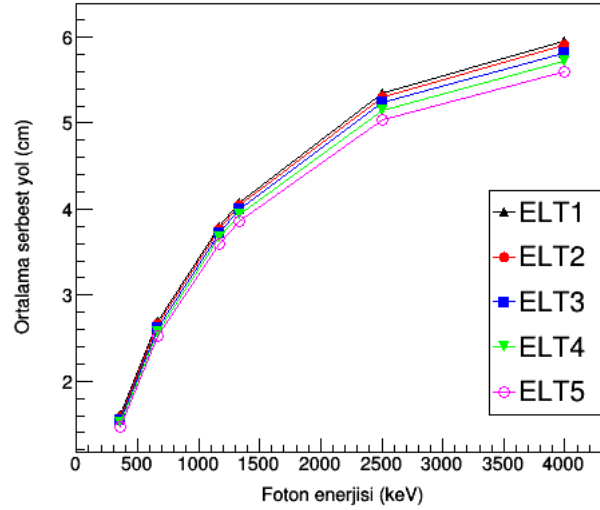


Şekil 6. 356, 1173 ve 2510 keV gama enerjileri için ELT camları transmisyon oranları.

Yarı değer kalınlığı (HVL) ve ortalama serbest yol (MFP) bir malzemenin gama yalıtım özelliğini karakterize eden iki önemli parametredir. Bu değerlerin küçük olması malzemenin gama zayıflatma özelliğinin iyi seviyede olduğunu göstermektedir. ELT camları için elde edilen HVL ve MFP grafikleri Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi, yüksek enerjili gama fotonlarının yüksek giricilik özelliğinden dolayı gama enerjisi arttıkça HVL ve MFP değerlerinin arttığı bu grafiklerden görülebilmektedir. Yüksek atom numaralı Eu elementinin en fazla bulunduğu ELT5 camının HVL ve MFP değerlerinin diğer camlara göre daha az olduğu bu grafiklerde açıkça görülmektedir. Bu nedenle, yüksek enerjilerde gelen gama fotonlarının etkin bir şekilde zayıflatılabilmesi için kalın cam malzemelerinin kullanılması gerekmektedir.



Şekil 7. Yarı değer kalınlığının foton enerjisine göre değişimi.



Şekil 8. Ortalama serbest yol parametresinin foton enerjisine göre değişimi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{—Li}_2\text{O—TeO}_2$ camlarına ait gama yalıtım parametreleri yüksek saflıkta germanyum dedektörünün Geant4 modeli ile üretilen Monte Carlo simülasyonları ve WinXCOM veri tabanı kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların analizi sonucunda aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yüksek saflıkta germanyum dedektörünün Geant4 modeli malzemelerin gama yalıtım özelliklerinin araştırılması çalışmalarında ve deneysel ekipman ve numunelerin bulunmaması durumunda yalıtım parametrelerinin tespiti amacıyla kullanılabilir
- Geant4 ile elde edilen kütle zayıflatma katsayıları WinXCOM ile bulunan sonuçlarla uyumludur. Kütle zayıflatma katsayıları düşük enerjilerde yüksek değerlere sahip olup gama enerjisi yükseldikçe bu katsayılar hızla azalma göstermektedir. 1100 keV ve üzerindeki enerjilerde bu azalma çok küçük

oranlarda gözlemlenmiştir. Kütle zayıflatma katsayılarında gözlemlenen bu durum gama fotonu etkileşim mekanizmaları ile uyumludur.

- Kütle zayıflatma katsayılarına uygulanan üstel fit sonucunda elde edilen fonksiyonlar, simülasyon veya başka bir çalışmaya gerek duymadan istenilen 356 – 4000 keV arasında istenilen enerjide kütle zayıflatma katsayısını hesaplayabilmektedir.
- ELT cam sisteminde bulunan Eu oranının %1'den %5'e çıkarılması ile kütle zayıflatma katsayılarında artış, transmisyona, yarı değer kalınlığı ve ortalama serbest yol parametrelerinde azalmaya neden olarak cam sisteminin gama yalıtım özelliklerini iyileştirmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kılınçarslan, Ş., Başyigit, C. ve Akkurt, İ., Barit Agregalı ağır betonların radyasyon zırlama amacıyla kullanımının araştırılması, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 22, 393-399, (2007).
- [2] Akkas, A., Tugrul, A.B., Addemir, A.O., Marsoglu, M. ve Agacan B., Radiation shielding effect of boron carbide aluminum metal matrix composite, **Acta Physica Polonica A.**, 127, 947-949, (2015).
- [3] Sharaf, J.M. ve Hamideen, M.S., Photon attenuation coefficients and shielding effects of jordanian building materials, **Annals of Nuclear Energy**, 62, 50-56, (2013).
- [4] Olukotun, S.F., Gbenu, S.T., Ibitoye, F.I., Oladejo, O.F., Shittu, H.O., Fasasi, M.K. ve Balogun F.A., Investigation of gamma radiation shielding capability of two clay materials, **Nuclear Engineering and Technology**, 50, 957-962, (2018).
- [5] Singh, V.P., Shirmardi, S.P., Medhat, M.E. ve Badiger, N.M., Determination of mass attenuation coefficient for some polymers using monte carlo simulation, **Vacuum**, 119, 284-288, (2015).
- [6] Gokce, H.S., Ozturk, B.C., Cam, N.F. ve Cakir O.A., Gamma-ray attenuation coefficients and transmission thickness of high consistency heavyweight concrete containing mineral admixture, **Cement & Concrete Composites**, 92, 56-69, (2018).
- [7] Singh, J., Singh, H., Sharma, J., Singh, T. ve Singh P.S., Fusible alloys: a potential candidate for gamma rays shield design, **Progress in Nuclear Energy**, 106, 387-395, (2018).
- [8] Kumar, A., Kaur, R., Sayyed, M.I., Rashad, M., Singh, M. ve Ali, A.M., Physical, structural, optical and gamma ray shielding behavior of (20+x)PbO-10BaO-10-Na₂O-10MgO-(50-x)B₂O₃ glasses, **Physica B Condensed Matter**, 552, 110-118, (2019).
- [9] Bagheria, R., Moghaddam, A.K., Shirmardi, S.P., Azadbakht, B. ve Saleh M., Determination of gamma-ray shielding properties for silicate glasses containing Bi₂O₃, PbO, and BaO, **Journal of Non-Crystalline Solids**, 479, 62-71, (2018).
- [10] Tijani, S.A., Kamal, S.M., Al-Hadeethi, Y., Arib M., Hussein, M.A., Wageh, S. ve Dim L.A., Radiation shielding properties of transparent erbium zinc tellurite glass system determined at medical diagnostic energies, **Journal of Alloys and Compounds**, 741, 293-299, (2018).
- [11] Kumar, A., Gamma ray shielding properties of PbO-Li₂O-B₂O₃ glasses, **Radiation Physics and Chemistry**, 136 50-53, (2017).

- [12] Kaewjaeng, S., Kothan, S., Chanthima, N., Kim, H. ve Kaewkhao J., Gamma radiation shielding materials of lanthanum calcium silicoborate glasses, **Materials Today: Proceedings**, 5, 14901-14906, (2018).
- [13] Dogra, M., Singh, K.J., Kaur, K., Anand, V., Kaur, P., Singh, P. ve Bajwa B.S., Investigation of gamma ray shielding, structural and dissolution rate properties of Bi₂O₃-BaO-B₂O₃-Na₂O glass system, **Radiation Physics and Chemistry**, 144, 171-179, (2018).
- [14] Dong, M.G., El-Mallawany, R., Sayyed, M.I. ve Tekin, H.O., Shielding properties of 80TeO₂-5TiO₂-(15-x)WO₃-xAnOm glasses using WinXCOM and mcnp5 code, **Radiation Physics and Chemistry**, 141, 172-178, (2017).
- [15] Sakida, S., Hayakawa, S. ve Yoko, T., Part 2 ¹²⁵Te NMR study of M₂O-TeO₂ (M= Li, Na, K, Rb and Cs) glasses, **Journal of Non-Crystalline Solids**, 243, 13-25, (1999).
- [16] Heo, J., Lam, D., Sigel, G.H., Mendoza, E.A. ve Hensley, D.A., Spectroscopic analysis of the structure and properties of alkali tellurite glasses, **Journal of the American Ceramic Society**, 75, 277-281, (1992).
- [17] Wang, J., Vogel, E. ve Snitzer, E, Tellurite glass: a new candidate for fiber devices, **Optical Materials**, 3, 187-203, (1994).
- [18] Reisfeld, R. ve Kalisky, Y., Nd³⁺ and Yb³⁺ germanate and tellurite glasses for fluorescent solar energy collectors, **Chemical Physics Letter**, 80, 178-183, (1981).
- [19] Kumar, H., Khanna, A., Structural, thermal and photoluminescent properties of Eu₂O₃-Li₂O-TeO₂ glasses, **Journal of Luminescence**, 204, 319-326, (2018).
- [20] Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J., Geant4-a simulation toolkit, **Nuclear Instrumentation and Methods in Physics A.**, 506, 3, 250-303, (2003).
- [21] Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B. ve Lerving H., WinXCom - A program for calculating X-ray attenuation coefficients, **Radiation Physics and Chemistry**, 71, 653-654, (2004).

Türk sofralık yeşil zeytinlerin antioksidan özellikleri üzerine İspanyol yöntemi ile işlemenin etkisi

Elif SAVAŞ*

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Çağış kampüsü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 23.05.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 22.10.2019

Öz

Akhisar Bölgesi Türkiye'den hasat edilen üç Türk zeytin çeşidi (Domat, Edremit, Gemlik) ile gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, İspanyol Yöntemi ile sofralık zeytine işlemenin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasiteye etkisini belirlemektir. Zeytin ekstraktlarının toplam fenol içeriği Folin-Ciocalteu yöntemi ile, antioksidan kapasite ise ferric tiyosiyanat indirgeme kapasitesi ve hidrojen peroksit giderme kapasitesi yöntemleri ile belirlenmiştir. Çizilmiş ve çizilmemiş zeytinler salamura değişimi ((6 % (w/v) NaCl) ve kontrol örneği olarak alkali (1% (w/v) NaOH) uygulaması ile acılık giderme işlemine tabi tutulmuştur. Alkali ile acılık giderme işlemi oleuropein miktarlarında % 78 oranında azalmaya neden olmakla birlikte sırasıyla Edremit, Domat ve Gemlik çeşitlerinin toplam fenolik madde içeriklerinde % 70.51, % 70.47 and % 50.44 düzeylerinde azalma görülmüştür.

Anahtar kelimeler: H₂O₂ giderme, toplam fenol, zeytin, Edremit, domat, Gemlik.

Influence of Spanish style processing on antioxidant properties of Turkish green table olives

Abstract

The study was performed on three Turkish olive cultivars from Akhisar region in Turkey (Domat, Edremit, Gemlik) to determine the effect of Spanish style processing on total phenolic compounds and antioxidant capacity. Total polyphenol content was estimated with the Folin-Ciocalteu assay, the antioxidant activity of olive extracts was determined according to the ferric thiocyanate method and hydrogen peroxide scavenging assay. Scratched and unscratched olive samples were debittered by brine replacement (6 %

* Elif SAVAŞ, esavas@balikesi.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-4878-0013>

(w/v) NaCl) and alkaline (1% (w/v) NaOH) treatment as control. Alkali treatment for debittering, was decreased oleuropein amounts 78 %, however, has led to an important loss of total phenolic compounds with a reduction rate of 70.51%, 70.47% and 50.44%, for Edremit, Domat and Gemlik varieties, respectively.

Keywords: H₂O₂ scavenging, total phenol, olive, Edremit, domat, Gemlik.

1. Giriş

Zeytin ve zeytinyağı Akdeniz diyetinin vazgeçilmez sağlıklı bileşenlerini oluşturmaktalar ve bu nedenle fonksiyonel gıda olarak ifade edilmektedirler [1-3]. Türkiye önemli bir sofralık zeytin üreticisi ve tüketicisi ülke olarak bilinmektedir. Sofralık zeytinde bulunan fenolik maddeler lezzet, aroma, yapı gibi pekçok özelliğin oluşumunda etkili olmakla birlikte, zeytinin antioksidan özelliğinden sorumludur. Teknik olarak fenolik bileşikler indirgeyici ajan, hidrojen verici ve tekli oksijen baskılayıcı olarak rol oynamaktadır [3]. Bu bileşikler, serbest radikallerin temizlenmesi ve işleme ile depolama sürecinde gıdaların bozulmasının en önemli nedenlerinden biri olan lipid peroksidasyon sürecinin geciktirilmesi yoluyla raf ömrünü artırmaktadır [4-6]. Aynı zamanda antioksidanlar, insan bedenini serbest radikal ve reaktif oksijen türlerinin etkilerine karşı da korumaktadırlar. Lipid peroksidasyonunun yanı sıra birçok kronik hastalığın ilerlemesini geciktirirler [7]. Son dönemde birçok kronik hastalıkla ilişkilendirilen reaktif oksijen türlerine olan ilgi gittikçe artmaktadır. Bu bileşikler, süperoksit anyon radikalleri (O⁻), hidroksil radikalleri (OH), H ve O gibi serbest olmayan radikal türleri ile tekli oksijen (O₂) içeren serbest radikalleri içeren çeşitli aktif oksijen formlarıdır[8]. Bitkisel kaynaklarda bulunan ve zararlı reaktif oksijen türlerinin vücutta bıraktığı hasarlara karşı koruyucu etki gösteren doğal ve güvenli antioksidan kaynaklarını belirlemeye yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. İnsan beslenmesi açısından önemli olduğu kadar, gıda raf ömrünün kısalmasına neden olan reaktif oksijen türlerinin lipid peroksidasyonu yolu ile gıdalarda besinsel ve duyuşal özelliklerin kaybına neden oldukları düşünüldüğünde antioksidanların önemi daha da artmıştır [9]. Bitkisel kökenli gıdalarda doğal olarak bulunan antioksidan bileşikler çeşit [10,11], olgunlaşma derecesi [12], sulama rejimleri [13], iklim ve seçilen ekstraksiyon yöntemleri zeytinlerin antioksidan özelliklerini etkileyen faktörler olarak bildirilmektedir. Sofralık zeytin üretiminde uygulanan yöntemler süresince birçok farklı işlem ve süreç farklı mekanizmalarla fenolik bileşen miktarı ve türü üzerinde etkili bulunmuştur [10-18]. Doğal siyah sofralık zeytin üretiminde fermentasyon süresince asit hidrolizi son üründe ana fenolik bileşen olarak bilinen hidroksitirozol oluşumuna neden olmaktadır. Antosiyaninlerin polimerizasyonu, zeytinlerin son renk gelişiminin sebebidir [14-19]. İspanyol yöntemi endüstriyel ölçekte sofralık yeşil zeytin üretiminde en çok uygulanan yöntemler arasındadır. Bu metot, hızlı, güvenilir ve standart üretime imkan verdiği için tercih edilmektedir. İspanyol yöntemi ile yeşil zeytin işleme, NaOH uygulaması ile glikozitlerin hidrolizini gerçekleştirerek, bol miktarda hidroksitirozol salınımına yol açmaktadır. Benzer şekilde verbaskosit hidrolizinin neden olduğu kafeik asidin formasyonu da gözlenmektedir [14].

Üretimde yer alan her yanlış adım, tüketiciyi doğal gıda kaynaklarından uzaklaştırması yansıra beklenen sağlık etkilerinden yararlanma olasılığını azalmasına yol açar. Prosesleri yönlendirecek optimum çözümler bulmak için problemleri doğru belirlemek önemli bir noktadır. Bu amaçla, işlenmiş zeytin ürünlerindeki antioksidan kayıplarını ortaya çıkarmak büyük bir öneme sahiptir. Bu durum besin değeri bakımından gıda

kaynaklarından ne kadar yararlanılabileceğini de göstermektedir. Bu çalışmada Türk yeşil sofralık zeytinlerini (*Olea europea L*) İspanyol yöntemi ile işleme sonrası antioksidan özelliklerindeki değişim etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Örnek koleksiyonu ve hazırlanması

Üç farklı Türk çeşidi (Gemlik, Domat ve Edremit) yeşil olgunluktaki zeytinler, 2012 yılı Kasım ayında Akhisar Bölgesi'nden hasat edildikten sonra, sap ayırma, yaprak ve çöpleri ayıklama ve en son yıkama işlemine alınmıştır. Sınıflandırma ve boylama işlemlerini takiben zeytinlerin kg daki dane sayıları belirlenmiştir. Zeytinler seçilen ağaçlardan elle toplanarak işlenmiştir. Sofralık zeytin üretimi için doğal yöntem ve İspanyol yöntemi uygulanmıştır. İspanyol yöntemi için zeytinler alkali çözeltisi (10 g/L NaOH) içinde 20 saat süresince, alkali meyve etinin %65'ine penetre oluncaya dek acılık giderme işlemine tabi tutulmuştur. Ardından alkali kalıntısını gidermek için yaklaşık 12 saat süreyle asitle yıkama (0.5 g/100 mL sitrik asit içinde) gerçekleştirilmiştir. Sonra zeytinler salamura içinde (%6 NaCl) pH 4.5'a gelinceye dek fermentasyona bırakılmışlardır.

İkinci yöntem olarak zeytinler doğal işleme yöntemi olarak bilinen salamura değişimi yöntemi ile işlenmişlerdir. Bu geleneksel işleme yöntemi Anadolu'da yüzyıllardır kullanılmakta olan bir yöntemdir. Yöntem, 24 saat süresince zeytinlerin CaCl₂ (1 g/ 100 ml) çözeltisi içerisinde bekletildikten sonra salamura (NaCl: 6 g/100mL) ile yer değiştirmesi ile gerçekleştirilmektedir. Haftada iki kez salamura değişimi yapılarak acılık giderme işlemi toplam 33 günde tamamlanmıştır. Burada ölçüt oleuropein adı verilen fenolik glikozitten kaynaklanan acı tadın büyük ölçüde yok olmasıdır. Bu ön işlemin ardından zeytinler 6 g/100 mL NaCl içeren salamura içerisinde fermentasyona bırakılmışlardır. Kontrol grupları bütün çeşitlerin işlenmemiş meyvelerinden oluşmaktadır.

Analizlerde kullanılmak üzere zeytin örneklerinden ekstrakt elde edilmiş, daha sonra bu ekstraktlardan zeytin tozu elde edilmiştir. Bu amaçla taze ve işlenmiş zeytinler sıvı nitrojen kullanıldıktan sonra Micra XRT(Heitersheim / Deutschland) marka homojenizatör yardımıyla homojenize edilmişlerdir. Örnekler analize alınmaya dek +4°C'de depolanmışlardır. Bütün çeşitlerde denemeler başlangıç, ispanyol yöntemi sırasında ve fermentasyondan 4 ay sonra gerçekleştirilmiştir. Zeytin tozu 2 dk 100 mL etanol içinde homojenize edildikten sonra elde edilen homojenizatlar analize alınmıştır.

2.2. Kimyasallar

Araştırmada kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup Sigma (Sigma– Aldrich GmbH, Sternheim, Germany) ve Merck (KGaA, Darmstadt, Germany) firmalarından temin edilmiştir.

2.3. Ferrik tiyosiyanat (FTC) yöntemi ile antioksidan kapasitenin belirlenmesi

Zeytin ekstraktlarının antioksidan kapasiteleri ferrik tiyosiyanat (FTC) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir [20]. Stok çözeltisinin 2.5 mL sodyum fosfat tamponu (0.04 M, pH 7.0) içinde seyreltilmesiyle farklı konsantrasyonlarda zeytin çözeltileri (1 - 5 mL) hazırlanmış ve bunlar sodyum fosfat tamponundaki 2.5 mL linoleik asit emülsiyonuna eklenmiştir (0.04 M, pH 7.0). Linoleik asit emülsiyonu, 15.5 µL linoleik asit, emülgatör olarak 17.5 mg Tween-20 ve 5 mL fosfat tamponu (pH 7.0) homojenize edilerek

hazırlanmıştır. Kontrol, 2.5 mL linoleik asit emülsiyonu ve 2.5 mL, 0.04 M sodyum fosfat tamponundan (pH 7.0) oluşmuştur. Reaksiyon karışımları (5 mL) 37°C'de polietilen kaplarda inkübasyona bırakılmıştır. Peroksit düzeyleri 500 nm'de absorbans okunarak belirlenmiştir. Linoleik asit peroksidasyonu sırasında oluşan peroksitler, 500 nm'de maksimum absorbansı olan ferrik tiyosiyanat yöntemiyle bir kompleks oluşturan Fe^{2+} ile Fe^{3+} 'ı okside edecektir. Çalışma aşamasınca her 5 satte bir maksimuma ulaşıncaya kadar bu durum tekrarlanmıştır. Yüzde inhibisyon bu noktada (30 saat) hesaplanmıştır. Zeytin ekstraktı içermeyen çözeltiler kör (şahit) örnek olarak kullanılmıştır. Linoleik asit emülsiyonundaki lipid peroksidasyonu aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Lipid peroksidasyon (\%)} = (100 - A\ddot{O} / AK) \times 100$$

AK: Kontrol reaksiyon absorbansı (sadece linoleik asit emülsiyonu ve sodyum fosfat tampon çözeltisine ait absorbans)

AÖ: Örnek absorbansı (zeytin ekstraktlarını içeren) (20).

2.4. Hidrojen peroksit giderme aktivitesi

Hidrojen peroksit giderme aktivitesi Ruch ve ark. (1989)'na göre gerçekleştirilmiştir [21]. Yöntemin prensibi, H_2O_2 'in oksidasyonu nedeni ile absorbansındaki azalmanın belirlenmesidir. 43 mM H_2O_2 çözeltisi 0.1 M fosfat tampon çözeltisi (pH 7.4) kullanılarak hazırlanmıştır. 3.4 mL fosfat tampon çözeltisi içinde 1 mL zeytin ekstraktları hazırlanarak 0.6 mL H_2O_2 çözeltisi ilave edildikten sonra 230 nm de absorbansı kaydedilmiştir. Şahit çözelti H_2O_2 içermeyen fosfat çözeltisi kullanılarak hazırlanmıştır. Deney ortamında hidrojen peroksit konsantrasyonu (mM) standart kurve kullanılarak belirlenmiştir. Zeytin ekstraktlarının H_2O_2 giderme yüzdesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.;

$$H_2O_2 \text{ giderme etkisi (\%)} = (1 - A\ddot{O} / AK) \times 100; \text{AK; Kontrol absorbansı ve AÖ; zeytin ekstraktlarının bulunduğu örnek absorbansı [20].}$$

2.5. Toplam fenol içeriğinin belirlenmesi

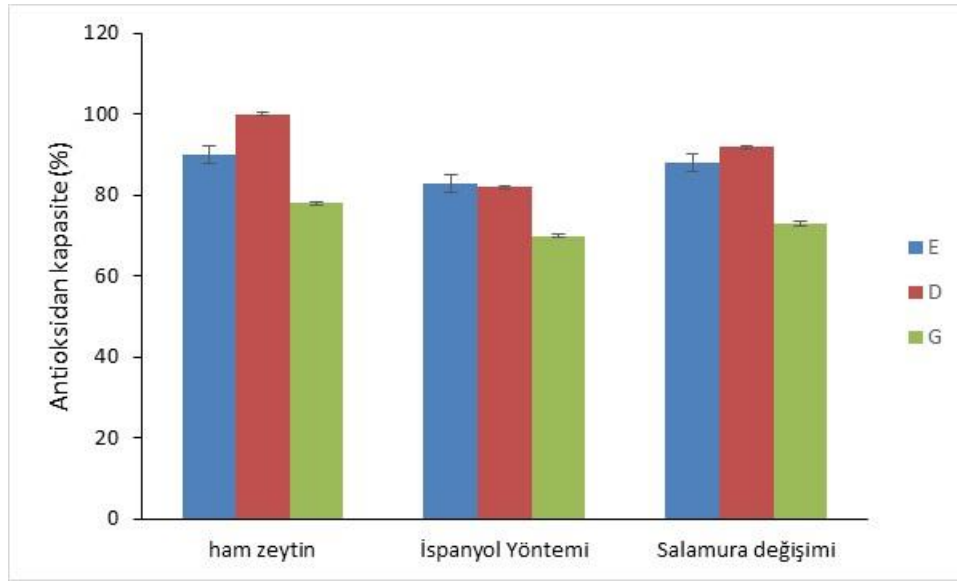
Zeytin ekstraktlarındaki toplam suda çözünür fenolik bileşenler Folin-Ciocalteu çözeltisi kullanılarak gallik asit standart kurvesi üzerinden belirlenmiştir [22]. 1 g ekstrakt içeren 1.0 mL ekstrakt çözeltisi distile su ile seyreltilmiştir (46 mL). 1 mL Folin-Ciocalteu çözeltisi ilave edilip, kap içeriği vortekslenmiştir. 3 dakika sonra 3 mL Na_2CO_3 (% 2) ilave edildikten sonra karışım 2 saat süresince aralıklı olarak çalkalanmıştır. 760 nm de absorbansı kontrol örneğine karşı ölçülerek, zeytin ekstraktlarındaki toplam fenolik madde konsantrasyonu standart gallik asit grafiğinden elde edilen aşağıdaki denklem yardımıyla mikrogram gallik asit eşdeğeri (GAE) cinsinden hesaplanmıştır;

$$\text{Absorbans} = 0.3456 \times \text{toplam fenolik madde (GAE, } \mu\text{g)} - 0.021$$

3. Sonuçlar

3.1. Linoleik asit emülsiyonunda toplam antioksidan aktivitenin belirlenmesi

Bu çalışmada Türkiye’de ve Marmara Bölgesi’nde en çok yetiştiriciliği yapılan ve dolayısıyla en çok üretimi yapılan sofralık çeşitlerden Domat, Gemlik ve Edremit çeşidi zeytinler geleneksel üretim yöntemlerinden biri olan salamura değişimi ve endüstriyel yöntemler arasında en çok tercih edilen İspanyol Yöntemi kullanılarak sofralık zeytine işlenmişlerdir. Ham zeytin meyvesinde ve işlenmiş sofralık zeytin örneklerinin etanol ekstraktlarında toplam antioksidan kapasite belirlenmiştir. Bu amaçla oksidasyonun birincil metaboliti olan ve başlangıç aşamasında oluşan hidrojen peroksit konsantrasyonunun belirlenmesi esasıyla uygulanan ferriksiyanit method kullanılmıştır. Farklı ham zeytin örneklerine ait etanol ekstraktları (250 µg) üzerine Linoleik asit emülsiyonunun peroksidasyon etkisi Şekil 1.’de gösterilmiştir. Ham zeytin örneklerine ait en yüksek antioksidan kapasite değeri sırasıyla Domat, Gemlik ve Edremit çeşitlerinde belirlenmiştir (Şekil 1). Bütün zeytin örnekleri tüm konsantrasyonlarda etkili antioksidan kapasite göstermişlerdir. Antioksidan bileşenler içeren ekstraktlarda bu maddelerin varlığı Fe³⁺ / ferrisiyanid kompleksinin demir forma indirgenmesine neden olur. Bu nedenle Fe²⁺, 500 nm’de belirlenebilir [8]. İspanyol yöntemiyle işlenmiş zeytin örneklerinde antioksidan aktivitede önemli kayıplar belirlenmiştir ($p < 0.01$) (Şekil 1).

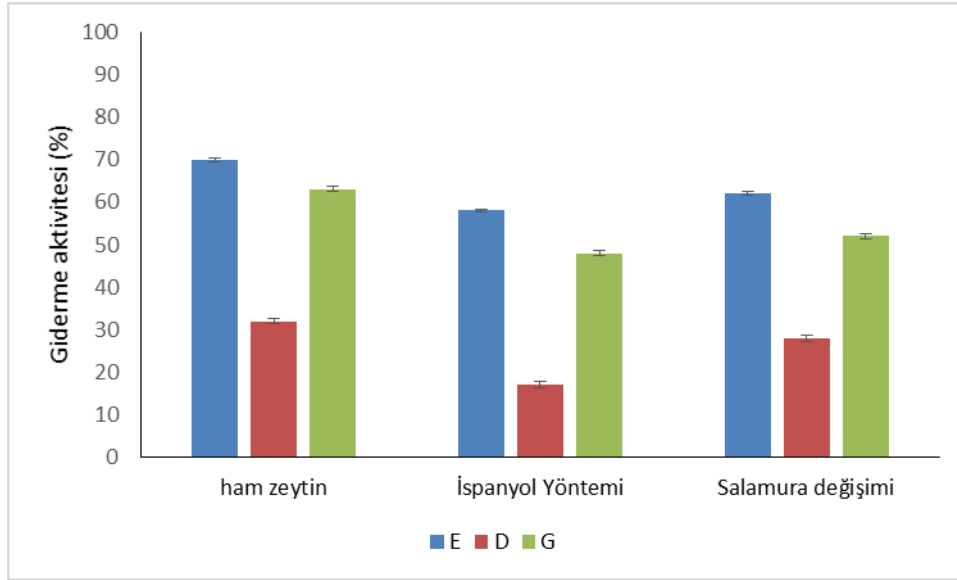


Şekil 1. Zeytin meyvesi ve salamura değişimi ile İspanyol yöntemi kullanılarak işlenmiş sofralık zeytinlerin etanol ekstraktlarındaki toplam antioksidan kapasite (\pm SD, n= 3).

3.2. Hidrojen peroksit giderme aktivitesi

Farklı zeytin örneklerine ait etanol ekstraktlarının hidrojen peroksit giderme aktivitesi karşılaştırmalı olarak Şekil 2’de gösterilmektedir. Zeytin ekstraktlarının konsantrasyona bağlı olarak aktivitelerinin değiştiği belirlenmiştir. Ham zeytin örneklerine ait 1000 mL etanol ekstraktlarında Domat (D), Edremit (E), Gemlik (G) için antioksidan kapasite sırasıyla %58, %80, %69 olarak belirlenmiştir. Aynı değer salamura değişimi ile elde

edilen örneklerde Edremit (ES) %38, ispanyol yöntemiyle elde edilen Edremit (EA) %28, ispanyol yöntemiyle işlenen Gemlik çeşidinde (GA) %15 ve İspanyol yöntemiyle işlenen Domat (DA) çeşidinde ise %14 olarak belirlenmiştir. Bu örneklerde hidroje proksit giderme aktivitesi sırasıyla $E > G > D > ES > GS > DS > EA > GA > DA$ olarak değişmiştir.



Şekil 2. Ham zeytin örnekleri ve iki farklı üretim yöntemiyle elde edilmiş sofralık zeytin örneklerine ait etanol ekstraktlarının aynı konsantrasyonlarda (20 µg/mL) hidrojen peroksit radikal giderme aktivitelerinin karşılaştırılması.

3.3. Toplam fenolik bileşen

Fenolik içerikleri (Tablo 1) incelenen zeytin çeşitlerinde ve bu çeşitler için taze ve işlenmiş zeytinler arasında önemli ölçüde farklılıklar ortaya konmuştur ($p < 0.05$). Bu içerikler taze zeytinlerde (Domat'ta 303.8 mg GAE.100g⁻¹, Edremit'te 402.2 mg GAE.100g⁻¹), işlenmiş olanlara (Domat'ta 89.7 mg GAE.100g⁻¹ ile Edremit'te 312.5 mg GAE.100g⁻¹) göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 1. Zeytin örneklerinde toplam fenolik madde değişimi

Ürün kodu	Toplam fenol içeriği (mg GAEq.100g ⁻¹)*	Fenol içeriğinde azalma (%)	Bağlı fenol içeriği (%)
D	303.8±0.12	0.00	100
DA	89.7±1.2	70.47	29.52
DS	225.7±2,1	25.70	74.29
E	402.2±3.56	0.00	100
EA	118.6±2.17	70.51	29.49
ES	312.5±1.1	22.30	77.70
G	315.4±2.7	0.00	100
GA	159.1±3.1	50.44	50.44
GS	225±2	28.44	71.4

* mg gallic acid equivalent

D: Domat çeşidi, DA: İspanyol yöntemi ile işlenmiş Domat çeşidi, DS: Salamura değişimi ile işlenmiş Domat çeşidi, E: Edremit çeşidi, EA:İspanyol yöntemi ile işlenmiş Edremit çeşidi, ES:Salamura değişimi ile işlenmiş Edremit çeşidi, G: Gemlik çeşidi, GA: İspanyol yöntemi ile işlenmiş Gemlik çeşidi, GS: Salamura değişimi ile işlenmiş Gemlik çeşidi.

4. Tartışma

Zeytin ve zeytin ürünleri içerdikleri fenolik antioksidanlar nedeni ile “fonksiyonel gıda” olarak tanımlanmaktadır. Türkiye pazarında bulunan birçok sofralık zeytin üretim yöntemlerine bağlı olarak farklı düzeylerde fenolik antioksidan madde içeriğine sahiptir. Zeytinyağında antioksidan içeriklerinin üretim yöntemiyle bağlantısı inceleme konusu olmuşken sofralık zeytinlerin üretim yöntemleri ile içerdikleri antioksidan madde varlıkları arasındaki ilişki inceleme konusu olmamıştır [23]. Geleneksel olarak üretilen sofralık zeytinler ile endüstriyel yöntem olarak bilinen İspanyol yönteminin sofralık zeytin işlemede zeytinin içerdiği antioksidan ve toplam fenolik madde varlığına etkisi tüketicilerin sofralık zeytin seçiminde nütresyonel beklentinin karşılanması amacıyla önemli bulunmaktadır.

Zeytin meyvesinde antioksidan aktiviteyi oluşturan bileşenler çeşit, iklim, yöre, olgunluk düzeyi, hastalık ve zararlıların etkisi ile işleme yöntemi gibi pek çok faktörün etkisindedir. Saura-Calixto ve Goni (2006) fenolik bileşenlerin başlıca besinsel antioksidan kaynağı olduklarını, ancak birçok biyolojik faktörün bu bileşiklerin bioyararlılıklarını etkilediğini belirtmişlerdir [24]. Ben Othman ve ark. (2009) üç farklı olgunluk düzeyinde “Chetoui” çeşidi zeytinlerin spontan ve kontrollü fermentasyonla işlenmesi sonrasında antioksidan aktivitesinde %50-72 düzeylerinde azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir [1].

Araştırmamızda kullanılan üç farklı zeytin çeşidi ve her iki işleme yöntemi göz önüne alındığında; ekstrakt konsantrasyonu arttıkça aktivitenin de arttığı belirlenmiştir. Zeytin ve ürünlerindeki antioksidan aktivite, fenolik madde içeriği ile ilişkilendirildiği için araştırmamızda fermentasyon süresince toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değişimi değerlendirilmiştir. Tüm konsantrasyonlarda (10 – 1000 µL) etanol ekstraktları içerisinde ham zeytinlerin işlenmiş sofralık zeytinlerden daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiği belirlenmiştir. İspanyol işleme yöntemi ve salamura değişimi ile elde edilen sofralık zeytinler, polar grupların oluşturduğu fenolik madde kayıpları ile antioksidan aktivitede düşmeye neden olmuştur. Uccella (2000) ispanyol işleme yöntemi ile pericarp ve mezokarpta bulunan pekçok fenolik maddenin alkali ile işleme ve yıkama işlemlerinden olumsuz etkilendiğini ve antioksidan madde kayıplarının

bu işleme yönteminde arttığını bildirmiştir [11]. Bianchi (2003) fenolik madde kayıplarının işleme yöntemine göre değiştiğini ispanyol yöntemi ile işleme sırasında meydana gelen kayıpların hem polar hem de apolar fraksiyonlarda gerçekleştiğini ifade etmektedir [14]. Bütün ekstraktlarda antioksidan aktiviteler değerlendirildiğinde çeşitler içerisinde Domat çeşidinin Edremit ve Gemlik çeşidinden daha yüksek aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Yöntemler karşılaştırıldığında salamura değişimi ile elde edilen sofralık zeytinlerin genel olarak ispanyol yöntemi ile işlenen örneklerle göre daha yüksek aktivite gösterdikleri belirlenmiştir. Ayrıca salamura değişimi yöntemi ile elde edilen sofralık zeytin çeşitleri arasında en yüksek antioksidan kapasite Domat (DS) ta belirlenmiş, bunu sırasıyla Edremit (ES) ve Gemlik (GS) izlemiştir. Domat meyve et/çekirdek oranı yüksek çeşitler arasında olup, büyüklüğüne göre kabuk kalınlığı fazla olmayan bir çeşit olarak bilinmektedir. Antioksidan madde miktarındaki azalmanın sebebi olarak bileşenlerin su ile işleme sırasında meydana gelen hidroliz ve ardısıra gerçekleşen daha küçük molekül büyüklüğüne sahip polar parçalanma ürünlerinin geçirgenliği fazla olan epidermis tabakasından geçerek meyveden azalması olarak tahmin edilmektedir. Buna karşın daha kalın bir kabuk yapısına sahip olan Edremit ve Gemlik çeşitlerinde polar fraksiyonların geçişi kabuk yapısı ve yağ içeriği yüksek bu çeşitlerin su ile işleme sırasında polar geçirgenliği zayıf olan kabuk yapısı nedeniyle tutulduğunu düşündürmektedir.

İspanyol yöntemi en önemli işlem basamaklarından birisi olan alkali ile acılık giderme sırasında NaOH epikarpıta bulunan reaktif bileşenler ile reaksiyona girerek, vaks yapısındaki bu maddelerin çözülerek uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu, kullanılan alkali konsantrasyonu ve uygulama süresine bağlı olarak meyve etinden çekirdeğine dek etki etmektedir. Böylelikle zeytin meyvesinin epikarp ve mezokarp tabakası tamamıyla modifikasyona uğramaktadır. Daha dış kısımda yer alan kütikula tabakasının kalınlığı ve sertliği işlem sırasında azalmakta ve yumuşama meydana gelmektedir. Böylelikle bu tabaka meyvenin dış tabakalarının daha geçirgen hale geleceği ve epidermal hücrelerin görünür hale geleceği ölçüde azalmaktadır. Sonuç olarak, bağlayıcı işlevi olan bu altta yatan hücreler, meyvelerin doku kıvamını olumsuz yönde etkileyen değişikliklere uğrarlar (Bianchi, 2003). İspanyol yöntemi ile ilgili olarak, birkaç çalışma, konjuge fenolik bileşiklerin fonksiyonel gruplarının seçici bir şekilde saldırıya uğradığını ve bileşen moleküler kısımlarının elde edildiğini göstermiştir. Bu nedenle, sodyum hidroksitin oleuropein üzerindeki etkisi, hidroksitirozol arasındaki ester grubu olarak oleoside 11-metilester ve hidroksi tirozol verir. Oleoside 11-metilester, karbometoksi grubu değişmeden kalırken parçalanır. Bununla birlikte, reaktiflerin uygun bir pH ve molar oranının olduğu NaOH ve oleuropein arasında sözde bir teknolojik reaksiyonda, daha az reaktif karbometoksi grubu ayrıca bikarboksilik oleosid üretimine neden olacak şekilde hidrolize edilir [6, 14, 26, 27]. NaOH işleminden sonra kalan fenoller fermentasyonun gelişimini etkiler. Fermentasyon sırasında, bakterilerin yetersiz büyümesi nedeniyle, pH'ta istenen düşüş her zaman elde edilemez. Fermentasyonu olumsuz etkileyen bu gibi problemler tüm oleuropein izlerini gidermek için yetersiz ön alkali işleminden, degradasyon ürünlerinin varlığından, substratta yeterli miktarda şeker bulunmamasından ve salamuranın tuz içeriğinden kaynaklanabilir[26].

Zeytinyağı ekstraktlarında hidrojen peroksit giderme aktivitesi ile ilgili pekçok araştırma mevcut iken farklı üretim yöntemleri ile elde edilen sofralık zeytinlere ilişkin yeterli veri bulunmamaktadır. Elde edilen sonuçlar toplam antioksidan kapasite verileri ile uyumlu bulunmuştur.

Denemelerde kullanılan zeytin çeşitlerinin toplam fenolik madde içeriklerindeki değişim hammaddeden sofralık zeytine işleme sürecinde önemli ölçüde azalmıştır. Bu sonuç uygulanan acılık giderme işlemlerinde kullanılan alkali uygulaması ile salamura değişimi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Tunus [25], İtalyan [29] ve Cezayir [30] gibi farklı coğrafyalarda yetişen çeşitlere ait toplam fenolik madde içeriklerinin, araştırmamızda kullanılan çeşitlere göre daha yüksek olduğu belirtilmekte ve işleme sırasında bu maddelerin farklı oranlarda kayıplarından da söz edilmektedir. Sofralık zeytin, Akdeniz Diyeti'nin temel besin bileşeni olan fenolik bileşenler ve onların hidroliz ürünlerinin alınmasında önemli bir kaynaktır [17]. Kountouri ve ark. (2007) gönüllü insan denemelerinde zeytin fenoliklerinin biyoyararışlılığını araştırdıkları çalışmalarda, plazma fenolik madde içeriğindeki artışın, zeytin tüketimi ile ilgili olduğunu belirlemişlerdir [31]. Sonuçlar, zeytin fenolik bileşenlerinin iyi biyoyararışlılık etkisine sahip olduğunu, dolayısıyla antioksidan etkinliğinin de yüksek olduğunu göstermektedir. Zeytin işleme sırasında meyvede bulunan, suda çözünebilen şekerler, NaCl ve fenolik bileşen içeriklerinde salamurada meydana gelen ozmotik değişim nedeniyle değişimler oluşmaktadır [13]. Fenolik bileşikler, hidroksil grupları nedeniyle radikal giderme aktiviteleri yüksek olan çok önemli bitki bileşenleridir [32]. Saura-Calixto ve Goni (2006), İspanyol diyetinin fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesini incelemişler ve fındık, meyve, sebze, baklagiller ve hububattaki toplam fenol miktarlarını sırasıyla 894, 538, 287, 155 ve 107 mg / 100 g kuru madde olarak belirlemişlerdir [24]. Aynı araştırmacılar, İspanya'da toplam fenolik alımının kişi başına günde 1171 mg gallik asit olduğunu Folin-Ciocalteu yöntemiyle tahmin etmektedirler [24]. Bazı araştırmacılar, toplam fenol içeriği, ana antioksidan bileşiklerin (toplam polifenoller) içeriği ile zeytin örneklerinin toplam antioksidan kapasitesi arasında korelasyon olduğunu belirtmektedirler [25-33]. Ancak bazıları bu görüşün tersini savunmaktadırlar [34]. Bu veriler, yüksek toplam polifenol içeriğinin, antioksidan aktiviteyi arttırdığını ve fenolik içerik ile antioksidan aktivite arasında doğrusal bir korelasyon olduğunu gösteren görüşü desteklemektedir.

Diyet antioksidanlarının, Akdeniz diyetinin faydalı etkilerinin kritik bir aracı olabileceğine dair gittikçe artan bilimsel kanıtlar vardır. Akdeniz diyeti araştırmaları, yağ polifenollerinin önemli sağlık yararları sağladığını göstermektedir. Polifenoller serbest radikalleri absorplayarak, kardiyovasküler hastalık ve bazı kanser türleri üzerinde önleyici etkiye sahiptir. Ayrıca klinik çalışmalarda onaylandığı gibi antiinflamatuvar olarak da işlev görürler. Böylesine işlevsel bir etkiye sahip iyi antioksidan kaynağı besin tüketimi Akdeniz diyetinin temelini oluşturmaktadır. Ancak inanılanın aksine, zeytin bazı üretim aşamalarında sağlıklı bileşenlerini kaybedebilmektedir. Sofralık zeytin üretiminde antioksidan özelliklerin kaybolmasından sorumlu en önemli adım acılık giderme sürecidir. İspanyol yöntemiyle işlenen zeytinlerin etanol ekstraktları, salamura değişimi yöntemiyle işlenen zeytinlere göre daha zayıf antioksidan aktivite göstermiştir. Fenolik madde içeriğindeki azalma İspanyol Yöntemi ile işlenen zeytin örneklerinde daha fazla bulunmuştur. Ham zeytin numuneleri arasındaki farklar çeşit, olgunlaşma varyasyonu ile açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar, zeytin işlemenin, toplam fenolik içeriğinde önemli bir kaybı indüklediğini ve antioksidan değerinde bir azalmaya yol açtığını göstermektedir. Günümüzde fonksiyonel gıdalar büyük öneme sahip olduğundan, fenolik kaybı düşük yeni bir sofralık zeytin üretim yöntemine odaklanmak gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Ben Othman N., Roblain D., Chammen N., Thonart P., and Hamdi M. Antioxidant phenolic compounds loss during the fermentation of Chetoui olives. **Food Chemistry**. 116, 662–669, (2009).
- [2] Marsilio, V., Campestre, C., and Lanza, B., Phenolic compounds change during California-style ripe olive processing. **Food Chemistry**. 74,55-60, (2001).
- [3] Rice-Evans, C.A., Miller, N.T., Paganga, G., Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science**. 2 (4), 152–159, (1996).
- [4] Ayar-Kayal, H., Urek, R.O., Nakiboğlu, M., & Tarhan, L. Antioxidant Activities of Endemic Sideritis Leptoclada and Mentha Dumetorum Aqueous Extracts Used In Turkey Folk Medicine. **Journal of Food Processing and Preservation**, 33, 285–295, (2009).
- [5] Lee, J.M., Chung, H., Chang, P.S., and Lee, J.H., Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), **Food Chemistry**. 103, 662– 669, (2007).
- [6] Visioli, F., Poli, A., and Galli, C., Antioxidant and other biological activities of phenols from olives and olive oil. **Medicinal Research Reviews**, 22,65–75, (2002).
- [7] Lai, L.S., Chou, S.T., and Chao, W.W., Studies on the antioxidative activities of Hsian-tsao (*Mesona procumbens* Hemsl) leaf gum, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 49:963–968, (2001).
- [8] Gülçin, İ., Büyükokuroğlu, M.E. and Oktay, M., On the in vitro antioxidant properties of melatonin, **Journal of Pineal Research**, 33, 167–171, (2006a).
- [9] Miller, N. J., Diplock, A. T., and Rice-Evans, C.A., 1995. Evaluation of the total antioxidant activity as a marker of the deterioration of apple juice in storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 43, 1794–1801, (1995).
- [10] Pereira, J.A., Pereira, A.P.G., Ferreira, I. C. F. R., Valentao, P., Andrade, P. B., Seabra, Estevinho, R.L., and Bento, A., 2006. Table olives from Portugal: Phenolic compounds, antioxidant potential, and antimicrobial activity. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 54, 8425–8431, (2006).
- [11] Uccella, N., 2000. Olive biophenols: novel ethnic and technological approach. **Trends in Food Science and Technology**. 11,328–339, (2000).
- [12] Bouzaziz, M., Chamkha, M., and Sayadı S., Comparative Study on Phenolic Content and Antioxidant Activity during Maturation of the Olive Cultivar Chemlali from Tunisia. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 52,5476-5481, (2004).
- [13] Patumi, M., d_Andria, R., Marsilio, V., Fontanazza, G., Morelli, G., and Lanza, B., Olive and olive oil quality after intensive monoclonal olive growing (*Olea europaea* L., cv. Kalamata) in different irrigation regimes. **Food Chemistry**, 77, 27–34, (2002).
- [14] Bianchi G., Lipids and phenols in table olives. **European Journal of Lipid Science and Technology**. 105, 229–242, (2003).
- [15] Blekas G, Vassilakis C, Harizanis C, Tsimidou M, Boskou D-G., Biophenols in table olives. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50, 3688–3692, (2002).
- [16] Romero, C., Garcı́a, P., Brenes, M.; Garcı́a, A., and Garrido, A., 2002. Phenolic compounds in natural black Spanish olive varieties. **European Food Research and Technology**, 215, 489-496, (2002).
- [17] Boskou G, Fotini N, Salta Chrysostomou S, Mylona A, Chiou A, Andrikopoulos

- NK. 2006. Antioxidant capacity and phenolic profile of table olives from the Greek market. **Food Chemistry**, 94, 558–564, (2004).
- [18] Hui, Y.H., Barta, J., Cano, M.P., Drake, S.R. Gusek, T.W., Sidhu, J.S., and Sinha, N., 2006. Olive processing. **Iowa, USA: Blackwell publishing**, 26, 491–517, (2006).
- [19] Romero, C., Brenes, M., Yousfi, K.; Garcia, P., Garcia, A., and Garrido, A., Effect of cultivar and processing method on the contents of polyphenols in table olives. *J. Agric. Food Chemistry*, 52, 479–484, (2004).
- [20] Gulcin, I., Elias, S.R., and Gepdiremen, A., Antioxidant activity of lignans from fringe tree (*Chionanthus virginicus* L.), **European Food Research and Technology**, 223: 759–767, (2006b).
- [21] Ruch, R.J., Cheng, S.J., and Klaunig, J.E., Prevention of cytotoxicity and inhibition of intracellular communication by antioxidant catechins isolated from Chinese green tea, **Carcinogenesis** 10, 1003–1008, 1989.
- [22] Singleton, V.L., Orthofer, R., Ramuela -Raventós, R.M., Ester, P., Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, 299, 152-178, 1999.
- [23] Kachouri, F., Ksontini, H., Kraiem, M., Setti, K., Mechmeche, M. and Hamdi, M., Involvement of antioxidant activity of *Lactobacillus plantarum* on functional properties of olive phenolic compounds, **Journal of Food Science and Technology**, 52(12): 7924–7933, (2015).
- [24] Saura-Calixto, F., and Gonii, I., 2006. Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet. **Food Chemistry**, 94: 442–447, (2006).
- [25] Ben Othman, N., Roblain, D., Thonart, P., and Hamdi, M., Tunisian table olive phenolic compounds and their antioxidant capacity. **Journal of Food Science**, 73, 4,235–240, (2008).
- [26] Soler-Rivas, C., Espiñán, J. C., Wichers, H. J., 2000. Oleuropein and related compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80: 1013–1023.
- [27] Capozzi, F., Piperno, A., and Uccella, N., Oleuropein site selective hydrolysis by technomimetic NMR experiments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 48,1623-1629, 2000.
- [28] Yıldız, G., Uylaşer, V. 2015. Profile and total content of phenolics and antioxidant activity of commercial table olives from Turkey. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 5, 635 – 642, (2015).
- [29] Piscopo A, De Bruno A, Zappia A, Poiana M., Antioxidant activity of dried green olives (*Caroleacv.*). **LWT-Food Science and Technology**. 58, 49–54, (2014).
- [30] Mettouchia, S., Sacchib, R., Ould Moussaa, Z.E.D., Paduanob, A., Savaresec, M. and Tamendjaria, A., Effect of Spanish style processing on the phenolic compounds and antioxidant activity of Algerian green table olives, **Grasas Y Aceites**, 67 (1), e114, (2016).
- [31] Kountouri, A.M., Mylona, A., Kaliora, A.C., and Aandrikopoulos, N.K., Bioavailability of the phenolic compounds of the fruits (drupes) of *Olea europaea* (olives): Impact on plasma antioxidant status in humans. **Phytomedicine**, 14, 659–667, (2007).
- [32] Hatano, T., Edamatsu, R., Mori, A., Fujita, Y. and Yasuhara, E., Effect of interaction of tannins with co-existing substances. VI. Effects of tannins and related polyphenols on superoxide anion radical and on DPPH radical. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, 37,2016–2021, (1989).
- [33] Gorinsteina, S., Martin-Bellosob, O., Katricha, E., Lojekc, A., Číž, M., Gligelmo-Miguelb, N., Haruenkitd, R., Parke, Y.S., Jungf, S.T., and Trakhtenbergg, S.,

- Comparison of the contents of the main biochemical compounds and the antioxidant activity of some Spanish olive oils as determined by four different radical scavenging tests. **Journal of Nutritional Biochemistry**,14, 154–159, (2003).
- [34] Yu, L., Haley, S., Perret, J., Harris, M., Wilson, J., and Qian, M., Free radical scavenging properties of wheat extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**50, 1619–1624, (2002).

Düşük kütle oranlı iki değen çift yıldızın yörünge dönemi değişimlerinin incelenmesi: V404 Peg ve V619 Peg

Burcu ÖZKARDEŞ^{1,2,*}

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Uzay Bil. ve Tekn. Böl., Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi, Çanakkale

Geliş Tarihi (Received Date): 26.06.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 09.09.2019

Öz

Bu çalışmada düşük kütle oranına sahip iki aşırı değen çift yıldızın yörünge dönemi değişimleri, detaylı olarak ilk kez incelenmiştir. Hedef sistemlerin dönem analizleri, veri tabanlarından ve literatür yayınlarından alınan minimum ışık zamanları kullanılarak O-C yöntemine göre yapılmıştır. V404 Peg'in O-C diyagramının aşağı parabol şeklinde bir yapı gösterdiği ve döneminin $9.3(5) \times 10^{-2}$ s/yıl oranında azaldığı bulunmuştur. V619 Peg'in O-C diyagramının parabol+çevrimsel yapı gösterdiği ve döneminin $6.3(1) \times 10^{-2}$ s/yıl oranında arttığı bulunmuş; çevrimsel dönem değişimi, olası üçüncü cisme ve Applegate mekanizmasına göre tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Değen çift yıldızlar, dönem analizi, V404 Peg, V619 Peg.

Investigation of orbital period variations of two low mass ratio contact binary stars: V404 Peg and V619 Peg

Abstract

In this study the period variations of two over contact systems with low mass ratio are examined in detail for the first time. Period analyses of the systems are performed using the O-C method with their all minima times collected from the databases and published papers. The O-C diagram of V404 Peg shows a downward parabolic trend, and it is found that its period has a secular decrease at a rate of $9.3(5) \times 10^{-2}$ s/yr. The O-C diagram of V619 Peg shows an upward parabolic+cyclical character which indicates a continuous increase at a rate of $6.3(1) \times 10^{-2}$ s/yr in the system's orbital period. The

* Burcu ÖZKARDEŞ, burcu@comu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-6764-9299>

cyclical period variation is discussed according to a possible third companion and Applegate mechanism.

Keywords: *Contact binary stars, period analysis, V404 Peg, V619 Peg.*

1. Giriş

Örten çift yıldızların kimi sınıfları, yapılarının ve evrimlerinin incelenmesi bakımından araştırmacılara, görece ilgi çekici gelmektedir. Bu sınıflardan biri, W UMa türü örten çift sistemlerdir. W UMa türü çift yıldızların ışık eğrileri, eğrisel maksimumlara ve yaklaşık eşit derinlikli minimumlara sahiptir. Son söylenen durum, bu tür sistemlerde bileşen yıldızların yüzey sıcaklıklarının yaklaşık eşit olduğunu belirtir. Yörünge dönemleri kısa olup $0.2 \text{ gün} < P_{\text{yörünge}} < 0.8 \text{ gün}$ aralığındadır. Bu sistemlerin tayf türleri, geç A'dan orta K'ya değişim göstermektedir. Geç tayf türünden sistemler olmaları nedeniyle konvektif bir atmosfere sahiptirler; dolayısıyla, yapılarında manyetik aktivite, leke gibi kromosferik ve koronal özellikleri barındırırlar [1]. Roche modeline göre W UMa türü çift yıldızlar, degen sistemler alt sınıfına girerler. Bu modele göre, her iki bileşen yıldız kendi Roche şişimlerini doldurmuştur. Öyle ki, bileşenlerin L_1 Lagrange noktasından birbirlerine madde aktarması sonucu, bileşenleri saran ve uzanımı L_2 Lagrange noktasına kadar gelebilen bir ortak zarf oluşur. Bu durumda, sistem aşırı degen çift yıldız olarak adlandırılır. Son yıllarda yapılan çalışmalar dikkate alındığında, bu tür sistemlerin kütle oranını (q) ve değme derecesi (f) parametresini temel alan bir sınıflama mevcuttur. Buna göre, W UMa türü çift yıldızlarda $q < 0.25$ ve $f \geq \%50$ olan sistemler, “düşük kütle oranlı derin degen çiftler” grubunu oluşturmaktadır [2]. Böylesi sistemler, W UMa türü çiftlerin bileşen yıldız çekirdeklerinin birleşimiyle oluştuğu düşünülen ve hızlı dönen tekil yıldızlar olan Mavi Aykırılar (Blue Stragglers) ile FK Com türü sistemlerin kökenini anlamada en önemli kaynaklardır. Bu çalışmada, şimdiye kadar, sadece doğrusal ışık öğeleri belirlenmiş düşük kütle oranlı iki aşırı degen sistem olan V404 Peg'in ve V619 Peg'in yörünge dönemi değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Hedef sistemlere ilişkin literatüre dayanan öz bilgiler, aşağıda verilmektedir.

“Semi-Automatic Variability Search” isimli proje kapsamında değişen olarak keşfedilen V404 Peg, elde edilen ışık eğrisinin biçimine göre W UMa türü olarak sınıflandırılmıştır [3]. Aynı proje kapsamında, değişen olduğu belirlenen ve hedef sistem V404 Peg'i de içeren 9 sistemin ışık eğrileri sunulmuştur [4]. V404 Peg ile birlikte iki degen çift yıldızın dikine hızları ölçülerek tayfsal yörünge çözümleri yapılmıştır; buradan, V404 Peg'in kütle oranı, 0.236 ± 0.061 olarak elde edilmiştir [5]. Değişen Yıldızların 78. İsim Listesini içeren çalışmada, V404 Peg'in değişim türü EW olarak verilmiştir [6]. Sistemin *BVRI* ışık ve dikine hız eğrileri analiz edilerek V404 Peg'in, $q=0.243$ ve $f=\%32$ olmak üzere, A-türü aşırı degen çift yıldız olduğu ortaya konmuştur [7]. Bu çalışmada incelenen iki sistemin de dahil olduğu 100 degen çiftin parametreleri kullanılarak başlangıç kütlelerinin hesaplanması için yeni bir yöntem sunulmuştur [8]. W UMa türü çift yıldızların element bolluklarının belirlenmesini amaçlayan çalışmada, V404 Peg'in tayfsal verisinin az/duyarsız olması nedeniyle örnek sistem grubuna dahil edilmemiştir [9]. Hedef sistemin bazı fotometrik özellikleri, örten çift yıldızlara ilişkin katalog çalışmasında [10] yer alırken farklı yazarlarca kaydedilmiş minimum ışık zamanları da mevcuttur [11-14].

Literatürde az çalışılmış sistemlerden biri olan örten çift V619 Peg, ilk kez, NSVS (The Northern Sky Variability Survey) verileri kullanılarak 0.5553 gün döneme sahip bir W UMa türü çift yıldız olarak keşfedilmiştir [15]. 12 örten çift yıldızın minimum ışık zamanlarının verildiği çalışmada, V619 Peg için bir Min I ve bir Min II zamanı elde edilmiştir [16]. NSVS kataloğunda yer alan 4659 değişen sistemin sınıflaması yapılmış ve V619 Peg'in sınıfı, W UMa türü olarak belirlenmiştir [17]. Çift yıldız V619 Peg'in çok renk ışık ve dikine hız eğrileri analiz edilerek bileşen yıldızların fiziksel ve geometrik parametreleri verilmiş ve buna göre, sistem, düşük kütle oranlı A-türü W UMa çift yıldız olarak tanımlanmıştır [18]. Örten çiftler V619 Peg'in ve V404 Peg'in verilerini kapsayan ve toplam yüz sistemin temel parametrelerini kullanan hesaplamaları içeren çalışma, W UMa türü degen sistemlerin yaşlarının ve yörünge evrimlerinin belirlenmesini amaçlamaktadır [19]. Ayrıca, 1022 parlak degen çift yıldızın fotometrik parametrelerini içeren katalog çalışmasında, yakın çift V619 Peg'in bazı temel parametreleri bulunmaktadır [20]. Tablo 1'de, incelenen sistemlere ilişkin temel bilgiler verilmektedir. Bu tabloda yer alan "mag." kısaltması, kadir biriminde parlaklığı temsil ederken " \odot " sembolü, Güneş birimini karşılar.

Tablo 1. V404 Peg ve V619 Peg için temel bilgiler.

Parametre	Birimi	V404 Peg	V619 Peg
V_{mag}	mag.	10.44	10.46
Tayf Türü	--	F7V+F8V	F6V+F7V
$M_1; M_2$	M_{\odot}	1.18; 0.29	1.38; 0.26
$R_1; R_2$	R_{\odot}	1.35; 0.71	1.45; 0.71
a	R_{\odot}	2.67	2.64
Kaynak	--	[7, 21]	[18, 21]

2. Materyal ve Metot

2.1. Minimum ışık zamanları

Hedef iki sistemin dönem değişimlerinin incelenmesi için, sadece, kullanıma açık olan veri tabanlarından ("*O-C* Gateway: <http://var2.astro.cz/ocgate/index.php?lang=en>" ve "BAV-Lichtenkecker: <https://www.bav-astro.eu/index.php/veroeffentlichungen/service-for-scientists/lkdb-engl>") alınan minimum ışık zamanlarıyla [7, 18] kaynaklarında verilen tutulma zamanlarının ortalama değerleri kullanılmıştır. Buna göre, her iki sistemin, CCD yöntemiyle elde edilen, sırasıyla, V404 Peg için 18 birinci minimum (Min I) + 16 ikinci minimum (Min II) olmak üzere toplam 34 tane, V619 Peg için 8 Min I + 6 Min II olmak üzere toplam 14 tane tutulma zamanı bulunmaktadır. Sistemlerin minimum zaman bilgileri, sırasıyla, V404 Peg için Tablo 2'de, V619 Peg için Tablo 3'te verilmektedir. Bu tablolarda kullanılan BAV-L ve OC kısaltmaları, sırasıyla, BAV-Lichtenkecker ve *O-C* Gateway veri tabanlarını temsil ederken HJD ve CCD kısaltmaları ise, sırasıyla, Güneş merkezine indirgenmiş Jülyen gününü ve Charge-Coupled Device ifadesini karşılamaktadır. Ayrıca, [] işareti içinde verilen referansın ayrıntılı bilgisi, kaynaklar kısmında yer almaktadır.

Tablo 2. V404 Peg'in minimum zaman bilgileri.

HJD (2400000+)	Min. Türü	Yöntem	Referans	HJD (2400000+)	Min. Türü	Yöntem	Referans
52555.4988	I	CCD	OC	56120.8570	II	CCD	BAV-L
55386.4555	II	CCD	BAV-L	56141.3945	II	CCD	BAV-L
55411.8144	I	CCD	BAV-L	56905.3447	I	CCD	BAV-L
55412.8636	II	CCD	BAV-L	56918.3404	I	CCD	BAV-L
55500.2611	I	CCD	[7]	56918.5486	II	CCD	BAV-L
55502.3576	I	CCD	[7]	56930.2874	II	CCD	BAV-L
55503.4062	II	CCD	[7]	56930.4939	I	CCD	BAV-L
55506.3400	II	CCD	[7]	57225.3901	II	CCD	BAV-L
55511.3708	II	CCD	[7]	57241.5239	I	CCD	BAV-L
55515.3522	I	CCD	[7]	57242.3637	I	CCD	BAV-L
55424.8096	I	CCD	BAV-L	57242.5686	II	CCD	BAV-L
55529.3916	II	CCD	BAV-L	57284.6954	I	CCD	BAV-L
55793.4807	II	CCD	BAV-L	57336.6771	I	CCD	BAV-L
55820.5145	I	CCD	BAV-L	57354.2746	I	CCD	BAV-L
55851.3295	II	CCD	BAV-L	57590.4791	II	CCD	BAV-L
55851.5345	I	CCD	BAV-L	57952.4399	I	CCD	BAV-L
56109.5368	II	CCD	BAV-L	57981.3623	I	CCD	OC

Tablo 3. V619 Peg'in minimum zaman bilgileri.

HJD (2400000+)	Min. Türü	Yöntem	Referans
51549.6980	I	CCD	OC
54045.4107	II	CCD	OC
54046.3821	I	CCD	OC
55049.4547	II	CCD	[18]
55063.4481	II	CCD	[18]
55066.3632	I	CCD	[18]
55066.5579	II	CCD	[18]
55153.6294	II	CCD	OC
55501.7209	I	CCD	OC
56239.6954	II	CCD	OC
56929.0857	I	CCD	OC
57316.2498	I	CCD	OC
57624.8949	I	CCD	OC
58365.0181	I	CCD	OC

2.2. O-C yöntemi

Bir çift/çoklu sistemin dönemindeki değişimin varlığı, iyi bilinen O-C yöntemiyle ortaya konabilir. Burada, O: Gözlenen minimum zamanı, C: hesaplanan minimum zamanı ifade eder. Bu yöntemde, öncelikle, artıkların çevrim sayısına göre dağılımını gösteren O-C diyagramı oluşturulur. Böylesi bir diyagramdaki dağılım, doğrusal, parabolik, çevrimsel ya da bu değişimlerin bir bileşimi şeklinde olabilmektedir. O-C değerleri, aşağıda verilen Denklem 1 ile hesaplanmaktadır [22].

$$\text{Min. } I = T_0 + PE + QE^2 + \left(\frac{a_{12} \sin i}{c} \left\{ \frac{1-e^2}{1+e \cos v} \sin(v + \omega) + e \cos \omega \right\} \right) \quad (1)$$

Burada, T_0 ve P , başlangıç ışık elemanlarını, E ve Q ise, sırasıyla, çevrim sayısını ve kuadratik terimi ifade eder. [23] tarafından verilen parantez içindeki bağıntı, sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü bileşenden kaynaklanan zamandaki gecikmeyi (LTTE: Light Time Travel Effect) tanımlamakta olup kullanılan terimlerin tanımları şöyledir: ışık hızı c ile gösterilirken $a_{12} \sin i$, i , e , v ve w , çift yıldızın üçlü sistemin ortak kütle merkezi çevresinde çizdiği yörünge için sırasıyla, yarı-büyük eksen uzunluğun izdüşümünü, yörünge eğikliğini, yörünge basıklığını, yörünge gerçel anomali değerini ve yörüngede enberinin boylam açısını ifade eder. LTTE bağıntısında, T' ve P_{12} gizli terimler olup üçlü sistemin yörüngesi için sırasıyla, enberiden geçiş zamanını ve dönemini belirtir.

3. Bulgular

İncelenen sistemlerin dönem analizleri, aşağıdaki iki alt başlıkta verilmiştir.

3.1. V404 Peg

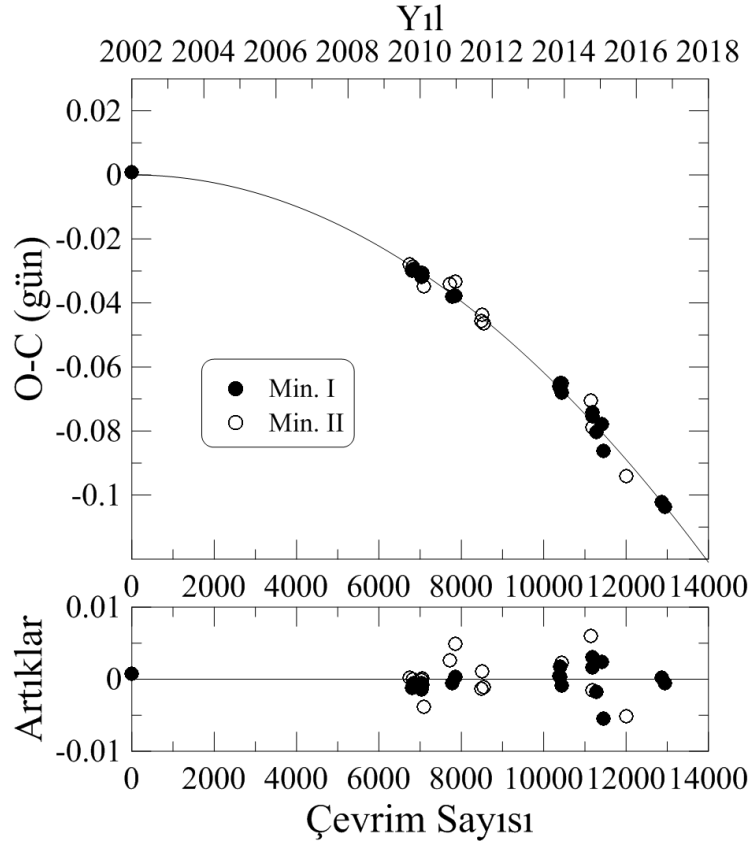
Sistemin dönem analizi için Tablo 2'de verilen tüm Min I ve Min II zamanları kullanılmış ve bu zamanların $O-C$ değerleri, aşağıda verilen doğrusal ışık elemanları kullanılarak hesaplanmıştır [24].

$$\text{Min. } I = 2452555.5059 + 0.^g 41918108xE \quad (2)$$

Buradan, $O-C$ değerlerinin çevrim sayısına göre dağılımı, Şekil 1'de (üst panelde) gösterilmektedir. Diyagrama göre, sistemin döneminde düzenli bir azalışı temsil eden aşağı parabolik benzeri bir değişim gözlenmektedir. Analizde, parabolik yapıyı en iyi şekilde temsil etmek için Denklem 1'de parantez içindeki bağıntıyla verilen ışık-zaman etkisi hesaba katılmamış ve tüm $O-C$ verilerine, en küçük kareler yöntemini kullanan ve [25] tarafından geliştirilen yazılım kodu uygulanmıştır. Minimum zamanların ağırlıkları, CCD gözlemi olması nedeniyle, 10 olarak girilmiştir. Elde edilen kuadratik ışık elemanları, aşağıda verilmektedir. Parantez içindeki değerler, son basamağa göre standart hata değerleridir.

$$\text{Min. } I = 2452555.4981(377) + 0.^g 4191879(41)xE - 6.17(35) \times 10^{-10} xE^2 \quad (3)$$

Gözlem noktalarının kuramsal fit ile uyumu ve bu fitten kalan artıklar, çevrim sayısına göre Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Üst panel: Değeri çift V404 Peg'in $O-C$ verisinin dağılımı ve kuramsal eğriyle (düz çizgi) uyumu; Alt panel: Kuramsal eğriden kalan artıklar.

3.2. V619 Peg

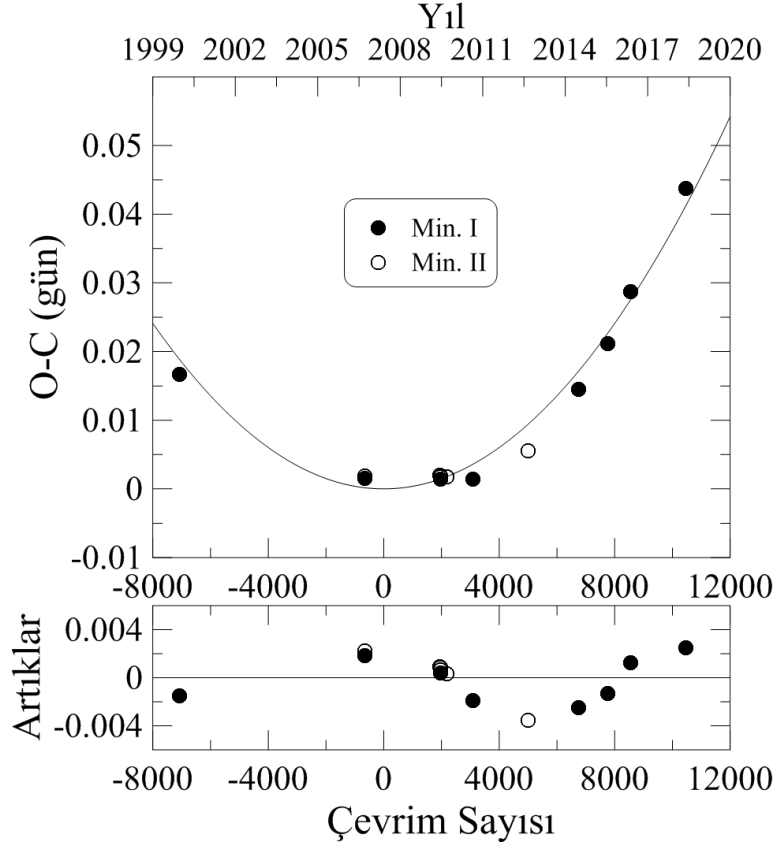
Analizde, sistemin Tablo 3'te yer alan tüm minimum ışık zamanları (Min I ve Min II) kullanılarak $O-C$ değerleri hesaplanmıştır; bunun için girdi parametreleri olarak [24]'ten alınan ve aşağıda Denklem 4 ile verilen doğrusal ışık elemanları kullanılmıştır.

$$\text{Min. I} = 2454299.8190 + 0.^g 38871515xE \quad (4)$$

Buna göre oluşturulan sistemin $O-C$ diyagramı, Şekil 2'de gösterilmekte olup genel dağılım, değeri çift V619 Peg'in yörünge döneminde sürekli bir artışı destekleyen yukarı parabol biçimindedir. Böylesi bir değişimi temsil etmek amacıyla, öncelikle ışık-zaman etkisi göz önüne alınmamış ve sistemin tüm $O-C$ verileri, Bölüm 3.1'de bahsedilen yazılım kodu kullanılarak analiz edilmiştir. V404 Peg ile benzer şekilde, sistemin minimum zamanlarının ağırlıklarına 10 verilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen en iyi kuramsal fiti karşılayan kuadratik ışık elemanları, aşağıdaki gibidir.

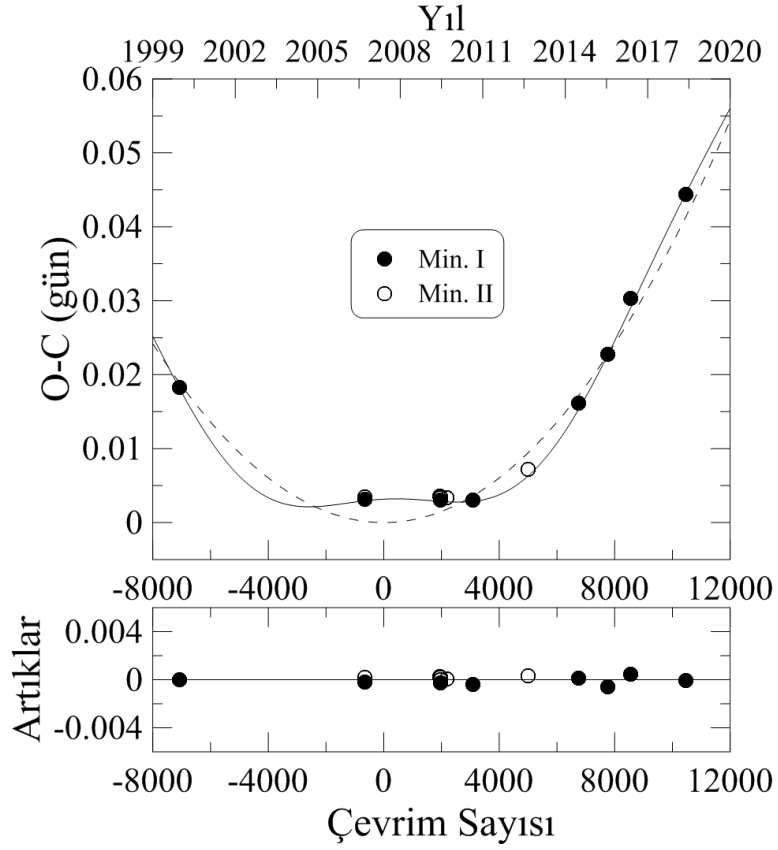
$$\text{Min. I} = 2454299.8206(42) + 0.^g 3887124(8)xE + 3.77(20) \times 10^{-10}xE^2 \quad (5)$$

Standart hata değerleri, parantez içinde verilmiş olup son basamağa göre düzenlenmiştir. Sadece parabolik yaklaşım altında yapılan analizde, elde edilen χ^2 değeri 0.0005'dir. Şekil 2'de, gözlemsel verinin bu kuramsal modelle karşılaştırılması ve artıkları gösterilmektedir.

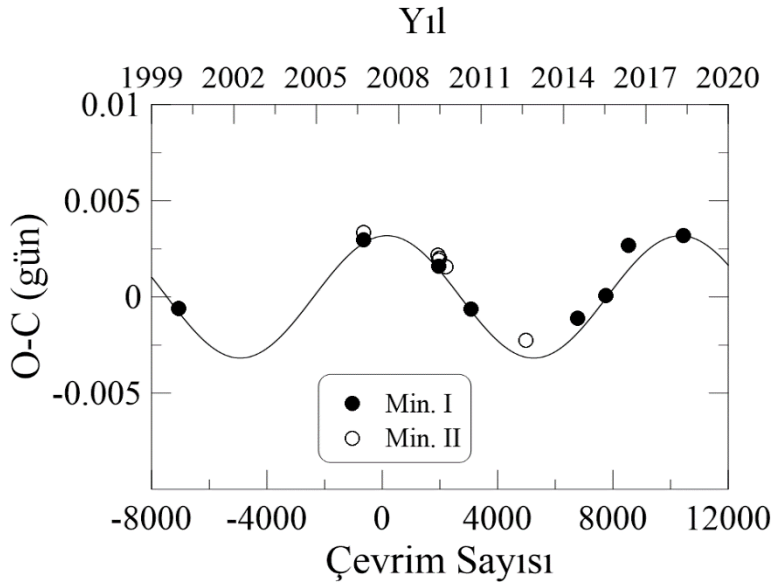


Şekil 2. Değen çift V619 Peg'in $O-C$ değişiminin kuramsal modelle (düz çizgi) karşılaştırılması (üst panel) ve artıklar (alt panel).

Şekil 2'nin alt panelinde, artıkların dağılımının sinüzoidal bir yapıda olduğu görülmektedir. Böylesi bir değişimin nedeni, çoğunlukla, sistemde görülmeyen üçüncü cisim kaynaklı olduğu kabul edilmektedir. Bu kabul altında, sistemin $O-C$ verilerine, ışık-zaman etkisini de içeren Denklem 1, yine aynı yazılım kodu aracılığıyla uygulanmıştır. Buradan, $\chi^2=0.0001$ olarak elde edilmiştir. İki χ^2 değeri karşılaştırıldığında, parabolik+çevrimsel yaklaşımın gözlemsel verilerle daha uyumlu olduğu görülmektedir. Sonuç olarak V619 Peg'in $O-C$ diyagramı, parabol üzerine binmiş sinüzoidal/çevrimsel yapıyla temsili ve en iyi uyum eğrisinden kalan artıklar, Şekil 3'te gösterilirken sistemin çevrimsel $O-C$ değişimi ve kuramsal modelle temsili, Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Değen çift V619 Peg'in $O-C$ verisinin parabol (kesikli çizgi) üzerine binmiş çevrimsel yapı (düz çizgi) ile temsili (üst panel) ve en iyi fitten kalan artıklar (alt panel).



Şekil 4. V619 Peg'in çevrimsel $O-C$ değişimi ve kuramsal modelle temsili (düz çizgi).

4. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada, Pegasi takımı yıldızında yer alan düşük kütle oranlı iki aşırı değen sistemin, V404 Peg ve V619 Peg, yörünge dönemi değişimi, detaylı olarak ilk kez incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, şu şekildedir:

V404 Peg'in *O-C* analizine göre yörünge dönemi azalmakta olup dönemdeki azalma oranı (dP/dt), Denklem 3'te verilen quadratik/parabol terimi kullanılarak, $9.3(5) \times 10^{-2}$ s/yıl olarak hesaplanmıştır. Böylesi bir azalışın nedeni, büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene aktarılan maddeden kaynaklanmaktadır [26]. Sistemin toplam kütlelerinin ve açısal momentumunun korunduğu varsayımı altında, aktarılan maddenin miktarının (\dot{m}_1) hesaplanmasında Denklem 6'da verilen bağıntı kullanılmıştır [27]. V404 Peg'in dönem analizinden elde edilen sonuçlar, son basamağa göre düzenlenmiş standart hata değerleriyle birlikte, Tablo 4'te verilmektedir. Tabloda, M_\odot ve AB birimi, sırasıyla, Güneş kütlelerini ve astronomi birimini temsil ederken HJD ise, Güneş merkezli Jülyen gününü ifade eder.

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{3\dot{m}_1(m_1 - m_2)}{m_1 m_2} = 3 \frac{1 - q^2}{qM} \dot{m}_1 \quad (6)$$

Tablo 4. V404 Peg'in dönem analizinden elde edilen parametreleri ve değerleri.

Parametre	Birimi	Değeri
T_0	HJD (+2400000)	52555.4981(377)
$P_{\text{yörünge}}$	Gün	0.4191879(41)
Q	Gün	$-6.17(35) \times 10^{-10}$
dP/dt	s/yıl	$9.3(5) \times 10^{-2}$
\dot{m}_1	$M_\odot/\text{yıl}$	3.29×10^{-7}

Literatürde, değen sistemlere ilişkin dönem analizi çalışmalarında, örneğin [28, 29], kütle aktarım oranı 10^{-7} – 10^{-8} $M_\odot/\text{yıl}$ değer aralığındadır. Buradan, hesaplanan kütle aktarım oranı değerinin literatürle uyumlu olduğu söylenebilir.

V619 Peg'in dönem değişimi, iki yaklaşım altında incelenmiştir: Parabol ve Parabol+Çevrimsel. χ^2 testine göre, ikinci yaklaşımın, gözlemleri daha iyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Buna göre, örten değen çift V619 Peg'in dönem analiziyle belirlenen parametreleri ve değerleri, Tablo 5'te verilmektedir. Burada, standart hata, birim ve kısaltma bilgisi, Tablo 4'tekiyle aynıdır.

Tablo 5. V619Peg'in dönem analizinden elde edilen parametreleri ve değerleri.

Parametre	Birimi	Değeri	Parametre	Birimi	Değeri
T_0	HJD (+2400000)	54299.8198(6)	e	--	0.0
$P_{\text{yörünge}}$	Gün	0.38871236(11)	w	Derece	90
Q	Gün	$3.78(1) \times 10^{-10}$	T'	HJD (+2400000)	5463(344)
dP/dt	s/yıl	$6.3(1) \times 10^{-2}$	P_{12}	Yıl	10.8(2)
dM/dt	$M_\odot/\text{yıl}$	1.93×10^{-7}	$f(m_3)$	M_\odot	0.0014(5)
$a_{12\text{sini}}$	AB	0.55(9)	m_3 ($i=90^\circ$ için)	M_\odot	0.17(7)

Çift yıldızlarda, bileşenlerden biri ya da her ikisi geri tayf türüne (F5 ve daha geri tayf türüne) sahipse, *O-C* diyagramında gözlenen çevrimsel değişimin olası nedeni, manyetik aktivite kaynaklı olabilir ki böylesi bir değişim, Applegate mekanizmasıyla açıklanır [30]. V619 Peg, geri tayf türüne sahip bir sistemdir (bkz Tablo 1). Toplam ışıtmaya katkısı daha fazla olan baş bileşenin manyetik aktiviteden sorumlu olduğu kabulüyle, V619 Peg için hesaplanan Applegate modeli parametreleri ve değerleri, Tablo 6’da verilmiştir. Bu modele göre, manyetik aktivite nedeniyle ortaya çıkan çevrimsel dönem değişimi için, aktiviteden sorumlu bileşenin yüzey altı manyetik alan değeri $B \sim 10$ kG olması gerekir. Elde edilen sonuçlar ($B_{V619Peg} = 12.6$ kG), model için verilen değer aralığında olup uyumludur.

Tablo 6. V619 Peg’in Applegate modeline göre elde edilen parametreleri ve değerleri.

Sistem	ΔJ (erg/s)	$\Delta\Omega/\Omega$	ΔE (erg)	I_s (gcm^2)	ΔL_{rms} (L_\odot)	B (kG)
V619 Peg	2.96×10^{47}	1.18×10^{-3}	3.26×10^{40}	1.34×10^{54}	0.076	12.60

Her iki sistem için yapılan dönem analizlerinin sonucu, ortaya konan bileşenler arası madde aktarımının, olası üçüncü cismin varlığının ve manyetik aktivite çevriminin araştırılması için daha fazla minimum ışık zamanlarının elde edilmesine, bunun yanısıra; farklı dalga boylarında (manyetik aktivite için özellikle mor öte, X-ışın gibi) yapılmış duyarlı fotometrik, tayfsal ve astrometrik gözlemlere önemle ihtiyaç vardır.

Teşekkür

Çalışmada, “NASA Astrophysics Data System Abstract Service” ve “SIMBAD at CDS, Starsbourg, France” olmak üzere iki veri kaynağından yararlanılmıştır. Düzenlenmiş yazılım kodunun kullanılmasındaki desteğinden dolayı Dr. P. Zasche’ye ve bu çalışmayı değerlendirerek önerilerde bulunan değerli hakemlere teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Bilir, S., Karataş, Y., Demircan, O. ve Eker, Z., Kinematics of W Ursae Majoris Type Binaries and Evidence of Two Types of Formation, **Monthly Notices of the royal Astronomical Society**, 357(2), 497–517, (2005).
- [2] Qian, S., Yang, Y., Zhu, L., Liying, H. ve Jiajia, Y. J., Photometric studies of twelve deep, low-mass ratio overcontact binary systems, **Astrophysics and Space Science**, 304, 25–28, (2006).
- [3] Maciejewski, G., Karska, A. ve Niedzielski, A., GSC 02757-00769 – A new EW binary system, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 5370, 1, (2003).
- [4] Maciejewski, G. ve Niedzielski, A., A semi-automatic variability search, **Baltic Astronomy**, 13, 700–703, (2004).
- [5] Maciejewski, G. ve Ligeza, P., Mass ratio determination of binary systems BD+14d 5016, GSC 2757-769 and GSC 3472-641, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 5504, 1, (2004).
- [6] Kazarovets, E. V., Samus, N. N., Durlevich, O. V., Kireeva, N. N. ve Pastukhova, E. N., The 78th name-list of variable stars, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 5721, 1, (2006).

- [7] Gürol, B., Terzioğlu, Z., Gürsoytrak, S. H., Gökay, G. ve Derman, E., Absolute and geometric parameters of the W UMa-type contact binary V404 Pegasi, **Astronomische Nachrichten**, 332, 690–696, (2011).
- [8] Yıldız, M. ve Doğan, T., On the origin of W UMa type contact binaries—a New method for computation of initial masses, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 430, 2029–2038, (2013).
- [9] Rucinski, S. M., Pribulla, T. ve Budaj, J., Spectroscopic metallicity determinations for W UMa type binary stars, **The Astronomical Journal**, 146,1–20, (2013).
- [10] Avvakumova, E. A., Malkov, O. Y. ve Kniazev, A. Y., Eclipsing variables: catalogue and classification, **Astronomische Nachrichten**, 334, 860–865, (2013).
- [11] Huebscher, J. ve Monninger, G., BAV-results of observations—photoelectric minima of selected eclipsing binaries and maxima of pulsating stars, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 5959, 1, (2011).
- [12] Huebscher, J., Lehmann, P. B. ve Walter, F., BAV-results of observations—photoelectric minima of selected eclipsing binaries and maxima of pulsating stars, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 6010, 1, (2012).
- [13] Huebscher, J., BAV-results of observations—photoelectric minima of selected eclipsing binaries and maxima of pulsating stars, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 6152, 1, (2015).
- [14] Huebscher, J., BAV-results of observations—photoelectric minima of selected eclipsing binaries, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 6157, 1, (2016).
- [15] Nicholson, M., Sutherland, J. ve Sutherland, C., New variable stars found in the NSVS database, **Open European Journal on Variable Stars**, 12, 1–3, (2005).
- [16] Gürol, B., Derman, E., Müyesseröglu, Z., Gürdemir, L., Gökay, G., Özbek, N., Sağır, U., Kalcı, R., Salman, G., Çoker, G., Eminoğlu, B., Demircan, Y. ve Terzioğlu, Z., Minima times of some eclipsing binary stars, **Information Bulletin on Variable Stars**, No. 5791, 1, (2007).
- [17] Hoffman, D. I., Harrison, T. E. ve McNamara, B. J., Automated variable stars classification using the Northern Sky Variability Survey, **The Astronomical Journal**, 138, 466–477, (2009).
- [18] Gürol, B., Derman, E., Saguner, T., Gürsoytrak, S. H., Terzioğlu, Z., Gökay, G., Demircan, Y., Okan, A. ve Saral, G., Absolute and geometric parameters of W UMa type contact binary TYC 1174-344-1, **New Astronomy**, 16, 242–249, (2011).
- [19] Yıldız, M., Origin of W UMa-type contact binaries-age and orbital evolution, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 437, 185–194, (2014).
- [20] Gettel, S. J., Geske, M. T. ve McKay, T. A., A catalog of 1022 bright contact binary stars, **The Astronomical Journal**, 31, 621–632, (2006).
- [21] SIMBAD Astronomical Database, <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad>, (22.05.2019).
- [22] Yakut, K., İbanoğlu, C., Kalemoni, B. ve Değirmenci, Ö. L., New light curve analysis and period changes of the overcontact binary XY Leonis, **Astronomy&Astrophysics**, 401, 1095–1100, (2003).
- [23] Irwin, J. B., Standard light-time curves, **The Astronomical Journal**, 64, 149–155, (1959).
- [24] Kreiner, J. M., Up-to-date linear elements of eclipsing binaries, **Acta Astronomica**, 54, 207–210, (2004).

- [25] Zasche, P., Liakos, A., Niarchos, P., Wolf, M., Manimanis, V. ve Gazeas, K., Period changes in six contact binaries: WZ And, V803 Aql, DF Hya, PY Lyr, FZ Ori, and AH Tau, **New Astronomy**, 14, 121–128, (2009).
- [26] Huang, S. S., A dynamical problem in binary systems and its bearing on stellar evolution, **The Astronomical Journal**, 61, 49–61, (1956).
- [27] Kwee, K. K., Investigation of variations in the period of sixteen bright short-period eclipsing binary stars, **Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands**, 14, 131–151, (1958).
- [28] Pribulla, T., Chochol, D., Rovithis-Livaniou, H. ve Rovithis, P., The contact binary AW Ursae Majoris as a member of a multiple system, **Astronomy and Astrophysics**, 345, 137–148, (1999).
- [29] Kriwattanawong, W., Tasuya, O. ve Poojon, P., Period change investigation of the lowmass ratio binary BO Ari, **New Astronomy**, 44, 12–16, (2016).
- [30] Applegate, J. H., A mechanism for orbital period modulation in close binaries, **The Astrophysical Journal**, 385, 621–629, (1992).

Inhibitory effect of garlic extracts on polyphenoloxidase

Mehmet Emin DİKEN*

Balikesir University Science and Technology Application and Research Center 10145 Balikesir, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 02.07.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 28.11.2019

Abstract

In this study, the inhibition effect of heat-treated garlic extract on polyphenol oxidase (PPO) obtained from Mentha piperita L. (mint) was investigated. In addition that the investigation was extended using inhibitors such as ascorbic acid, L-cysteine, glutathione, ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), and sodium azide using catechol, 4-methylcatechol and pyrogallol as substrates. PPO activity was significantly decreased by different reducing agents such as ascorbic acid, sodium azide, glutathione, L-cysteine and EDTA. The enzyme was also inhibited by the addition of garlic extract heat treated at different temperature (room temperature, 50 and 100 °C). Garlic extract heat-treated at 100 °C showed higher inhibition effect than the other garlic extracts. Ascorbic acid showed the strongest inhibitory activity among these inhibitors. This paper represents a new inhibitory source for preventing of enzymatic browning.

Keywords: Polyphenol oxidase, mint, garlic, inhibition.

Sarımsak ekstraktlarının polifenol oksidaz üzerine inhibitör etkisi

Öz

Bu çalışmada, Isıl işlem görmüş sarımsak özütlerinin, Mentha piperita L.' (nane) den elde edilen polifenoloksidaz (PPO) üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılmıştır. Ek olarak, araştırma askorbik asit, L-sistein, glutatyon, etilendiaminetetraasetik asit (EDTA) ve sodium azid inhibitörleri ile katekol, 4-metikatekol ve pirogallol substratları kullanılarak genişletilmiştir. PPO aktivitesi askorbik asit, sodyum azid, glutatyon, L-sistein ve EDTA gibi farklı indirgeyici ajanlar tarafından kuvvetli bir şekilde durdurulmuştur. Enzim ayrıca farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığı, 50 ve 100 °C) ısıt

* Mehmet Emin DİKEN, mediken@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-3349-939X>

işlem görmüş sarımsak ekstraktı ile inhibe edildiği tespit edilmiştir. 100 °C'de ısı işlem görmüş sarımsak özütü, diğer sarımsak özütlerinden daha yüksek inhibisyon etkisi göstermiştir. Askorbik asit, bu inhibitörler arasında en güçlü inhibitör aktivite göstermiştir. Bu makale, enzimatik esmerleşmenin önlenmesi için yeni bir engelleyici kaynağı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Polifenol oksidaz, nane, sarımsak, inhibisyon.

1. Introduction

Polyphenol oxidase (PPO; EC 1.14.18.1) is a metallo-enzyme including copper ions responsible for browning in plants and melanization in animals. PPO has different names depending on the substrate specificity, product and its form such as phenol oxidase, phenolase, tyrosinase, *o*-diphenol oxidase and catechol oxidase. Amino acids and proteins that are endogenous, catalyzes hydroxylation of monophenols to *o*-diphenols and oxidation of *o*-diphenols to *o*-diquinones resulting in formation of complex brown pigments, [1]. Browning can be a critical problem in fruits and vegetables, occurring color alterations after bruising, cutting or during storage that reduce the commercial product value and even make them undesirable to the consumer [2]. The browning mechanism is well characterized in some studies related to PPO enzyme that are aimed to stop the enzymatic browning [1-9]. Generally, synthetic inhibitors such as EDTA, sodium azide, glutathione, sulfite used to stop enzymatic browning. Whereas, most of these inhibitors are highly harmful for human health. For example, it was determined that sulfite-containing additives caused the oxidation of unsaturated fatty acids [3]. Recently, there is an increasing interest in natural compounds displaying inhibiting food deterioration, antimicrobial activity or avoiding oxidative processes for preventing the quality loss of processed products [2]. Unlike additives, the use of extracts does not pose a problem for consumers. As food components, there is a growing demand for customers related to using of natural ingredients instead of synthetic components. The polyphenol oxidase inhibitors obtained from natural resources were studied in several plants, but the development of natural and efficient polyphenol oxidase inhibitors is still needed. Lee et al (2002) studied inhibitory effect of onion extracts on PPO activity changing with heating temperature and time. They reported that heat-treatment of onion extract at 100 °C for 10 min exhibited stronger inhibitory effect on potato PPO activity than the fresh one. They suggested that onion extracts could be used as a natural inhibitor for PPO enzymes to be isolated from potatoes and different sources [1].

Allium sativum (Garlic) which is a species in the Alliaceae family is native to central Asia. Garlic extracts have been used for medicinal objectives for thousands of years. Garlic has a rich potential control agent for infectious organisms due to their antimicrobial properties [4]. Their use had determined as a treatment by Hippocrates for treating pneumonia and inflamed wounds. The using of garlic extracts for treatment such ailments as gastric catarrh, typhoid, cholera and dysentery has continued in several parts of the world. Besides, they have been asserted to be more effective than penicillin for the remedy of certain throat infections [4]. Additionally, Kumar and Berwal studied the garlic inhibitory activity against to *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* and *Staphylococcus aureus*. They investigated minimal inhibitory concentration of garlic at 80% inhibition level for these bacteria and found that garlic

was a potent inhibitor of food pathogens [5]. Davis et al demonstrated that *A. sativum* compounds possessed influential anti-cryptococcal activity and acts synergistically with amphotericin B under in vitro conditions to inhibit growth and wiped out *Cryptococcus neoformans* [6]. Wilson et al developed a rapid test to identify antifungal activity in plant extracts and essential oils. Extract solutions obtained from 345 plants and 49 essential oils were formed an estimate of their antifungal activity against *B. cinerea*. Among 345 plant extracts analyzed, 13 extracts showed high levels of antifungal activity among 345 plant extracts and, red thyme, palmarosa, clove buds, and cinnamon leaf among the 49 essential oils demonstrated the most antifungal activity against *B. cinerea* [7]. As can be seen from the explanations above, no studies have been found in the literature about polyphenol oxidase inhibition by garlic extracts. The aim of this paper is to develop alternative, reliable and natural inhibitors for preventing the enzymatic browning. Besides, the inhibition activity of the heat-treated garlic extracts at different temperatures was measured and compared with the inhibitory effects of ascorbic acid, L-cysteine, glutation, sodium azide and EDTA compounds.

2. Materials and method

2.1 Materials

Mint (*Mentha piperita* L.) and garlic (*Allium sativum* L.) used in this study were obtained from a local market in Balıkesir (Turkey). The chemicals were analytical grade and were purchased from Sigma Chem. Co. and Merck.

2.2 Extract of PPO

Firstly, the mint was treated with liquid nitrogen and then disintegrated by blender. 10 g ground mint was homogenized with 100 mL of 0.1 M sodium phosphate buffer containing 10 mM ascorbic acid and 4% polyethylene glycol at pH 7.0 for 2 min. The homogenate was filtered, and the filtrate was centrifuged at 15 000 x g for 10 minutes at 4 °C. Then, the supernatant was precipitated by ammonium sulfate (70%) and the pellet was dissolved in 0.1 M, phosphate buffer (pH 7.0) and dialyzed at 4 °C in 0.01 M sodium phosphate buffer for overnight to remove excess ammonium sulfate ions. Finally, the obtained sample was used as the PPO enzyme source in the further experiments [11].

2.3 Preparation of garlic extract

100 g cloves of garlic was homogenized with 0.01 M sodium phosphate buffer (100 mL) at pH 7.0, and the homogenate was centrifuged at 15 000 x g for 10 min. The supernatant was collected to use as a fresh garlic extract. Supernatant was separated into three parts. The first part of the supernatant was separated for room temperature analysis. The other parts were heat-treated by heating at 50 and 100 °C for 10 min [1].

2.4 Enzyme assay

The PPO activity was measured by monitoring the formation of quinones spectrophotometrically (A perkin Elmer Lambda-35 UV-Visible Spectrophotometer) at room temperature. To determine the enzymatic activity, catechol (10^{-1} M), 4-methylcatechol (10^{-1} M) and pyrogallol (10^{-1} M) were used as substrates, and analysis were carried out spectrophotometrically at 420, 420 and 320 nm, respectively. The total assay mixture containing PPO solution, substrate and buffer was 3 mL. The reaction was started by adding aliquots of extract in the test medium. The blank solution was

also prepared in same way using only substrate and buffer solutions. Enzyme activity data were calculated as averages of triplicate measurements [12].

2.5 Enzyme kinetics and substrate specificity

The procedure of the catalytic activity of PPO was assayed and evaluated as function of substrate including 4-methylcatechol, catechol, L-tyrosine, and pyrogallol. Additionally, PPO reaction rate was monitored using increasing substrate concentrations. The assessment of the experimental was achieved by using the Michaelis-Menten equation. The Michaelis-Menten equation was transformed into the double-reciprocal form (the Lineweaver-Burk plot) and provided a more reliable determination of V_{\max} and K_m [8].

2.6 Inhibition assay

Garlic extract was evaluated for its effectiveness as a inhibitor of mint PPOs using the same substrates. Furthermore, L-cysteine (10^{-3} M), EDTA (10^{-1} M), ascorbic acid (10^{-3} M for catechol and pyrogallol, 10^{-4} M for 4-methylcatechol), glutathione (10^{-3} M for 4-methylcatechol and pyrogallol, 10^{-4} M for catechol) and sodium azide (10^{-2} M), which are known as a inhibitors of PPO, was also used to compare the inhibition potential of garlic extract [13].

3. Results and discussion

Monophenolic and diphenolic substrates were assayed for substrate specificity of mint PPO. 4-methylcatechol, catechol, and pyrogallol as diphenolic substrates were oxidized considerably by mint PPO, but L-tyrosine which is a monophenolic substrate was unable to oxidize. Several plant PPO, such as broad bean, potato, and mushroom react with both the oxidation of *o*-diphenols and the hydroxylation of monophenols. Whereas a lot of PPOs absence monophenol activity[9]. Substrate specificities clearly demonstrate that the measured activity is diphenolase activity as noted for other plant PPOs sources like artichoke[10–12]. For every diphenolic substrate, substrate saturation curves signified that mint PPO follows Michaelis-Menten kinetics. Regression coefficients are approximately 0.99 and close to 1. Individual V_{\max} and K_m values were resulted with Lineweaver-Burk plots for each substrate for the kinetic analysis of the reaction rates at a series of concentrations. V_{\max}/K_m ratio as catalytic efficiency were evaluated for substrate specificities[13]. From Table 1, V_{\max}/K_m which is the catalytic efficiency values, showed that pyrogallol had higher catalytic activity as substrate for mint PPO. These findings are similar to previous studies which were reported peppermint, lettuce, lemon balm [11,13-14].

Table 1. K_m and V_{\max} values of mint PPO for different substrates.

Substrates	K_m (mM)	V_{\max} (EU/mL.min)	V_{\max}/K_m
Catechol	15	5000	333
4-methyl catechol	12.5	2500	200
Pyrogallol	5	5000	1000

In this work, the inhibition effect of heat-treated garlic extract solutions on PPO activity using pyrogallol, catechol, and 4-methyl catechol as substrates which were obtained from mint was investigated. Heat treatment of garlic extracts was carried out at room

temperature, 50 and 100 °C. Additionally, the inhibition effects of L-cysteine, EDTA, ascorbic acid, glutathione and sodium azide on PPO activity were also studied. Many compounds change an enzyme activity by combining with it in a way that affects the binding of substrate and/or its turnover number. Such compounds that reduce activity of an enzyme by this way are identified as inhibitors. Compared with substrate, inhibitors are general compounds that structurally have resemblance to enzyme's substrate which react very slowly or do not react. These inhibitors are usually used to examine thoroughly the chemical and structural nature of a substrate-binding site as part of an struggle to explain the enzyme's catalytic mechanism [14]. In some cases such as inactivation of PPO, elimination of one of the substrates for the reaction and the role of inhibitors on enzyme-substrat reaction products to inhibit the formation of colored products in secondary reactions may cause the inhibition of browning [15]. The prevention of enzymatic browning may be explained via various mechanisms such as single or multiple reaction mechanisms performed by a specific inhibitor.

Tablo 2. IC₅₀ values of mint PPO by garlic extracts.

Substrates	Parameters (°C)	IC ₅₀ (mg/mL)
Catechol	Room temperature	0.093
	50	0.104
	100	0.051
4-methyl catechol	Room temperature	---
	50	---
	100	---
Pyrogallol	Room temperature	---
	50	0.182
	100	0.137

Tables 2 and 3 show the IC₅₀ values of garlic extract and inhibitors such as ascorbic acid, glutathione, sodium azide, L-cysteine and EDTA on mint PPO enzyme activity using catechol, 4-methyl catechol and pyrogallol as substrate, respectively. Table 2 shows the effect of inhibition of garlic extracts, which is an anti-browning agent, subjected to heat treatment at different temperatures, on mint PPO enzyme activity. Garlic extract showed different behaviors according to both substrates and heat treatment temperatures. The highest inhibition activity of the garlic extract was observed for the heat-treated sample at 100 °C. When catechol was used as a substrate for this example, IC₅₀ value was calculated to be 0.051 mg/mL. Using the catechol as a substrate, the IC₅₀ values of the heat-treated garlic extracts at 25 and 50 °C were calculated as 0.093 and 0.104 mg/mL, respectively. As similar to results of this study, Myin-Kyung et al. reported that onion extract heat treated at 100 °C exhibited a higher inhibitory effect on potato polyphenol oxidase than those of fresh and other heat treated onion extracts [1]. At another study, it was reported that clove essential oil treatment with fresh-cut lettuce could prevent the browning induced by PPO, which catalyzes phenols into brown quinones [16]. When pyrogallol was used as a substrate, heat treated garlic extracts at 50 and 100 °C showed more inhibition effect on the mint PPO. IC₅₀ values of both of them were measured as 0.137 mg/mL for heat treated sample at 100 °C and 0.182 mg/mL, for heat treated sample at 50 °C, respectively. But, the fresh garlic extract did not exhibit any inhibitory effect on mint PPO. On the other hand, all

heat treated garlic extracts did not show any inhibition effect on mint PPO when 4-methyl catechol was used as substrate.

Tablo 3. IC₅₀ values of some inhibitors on mint PPO.

Substrates	Inhibitors	IC ₅₀ (mM)
Catechol	Ascorbic acid	0.087
	Glutathione	0.103
	Sodium azide	1.410
	L-cysteine	0.109
	EDTA	15.6
4-methyl catechol	Ascorbic acid	0.011
	Glutathione	0.114
	Sodium azide	2.051
	L-cysteine	0.105
	EDTA	----
Pyrogallol	Ascorbic acid	0.013
	Glutathione	0.234
	Sodium azide	-----
	L-cysteine	0.162
	EDTA	----

Table 3 summarizes the IC₅₀ values for inhibition of mint PPO activity with ascorbic acid, L-cysteine, glutathione, sodium azide, and EDTA inhibitors using 4-methylcatechol, pyrogallol, and catechol substrates. The results showed that ascorbic acid had the most inhibitory power on PPO with 4-methyl catechol, followed by pyrogallol and catechol. IC₅₀ values were 0.011, 0.013, 0.087 mM for 4-methyl catechol, pyrogallol, catechol, respectively. In literature, it was found that ascorbic acid was the most effective inhibitory for *Prunus spinosa* PPO when using 4-methyl catechol as a substrate, and its IC₅₀ value was 0.04 mM [17]. It was determined that glutathione and L-cysteine show less inhibitory effect for PPO, than the ascorbic acid. Both of them significantly performed the prevention of enzymatic browning. IC₅₀ values of glutathione were found as 0.103 mM, 0.114 mM and 0.234 mM with catechol, 4-methyl catechol and pyrogallol as substrates, respectively. For L-cysteine, IC₅₀ values were 0.105, 0.109 and 0.162 mM using 4-methyl catechol, catechol and pyrogallol, respectively. Sodium azide and EDTA were found to be the weakest inhibitors among them. Moreover, it was determined that EDTA had not any inhibitory effect on mint PPO with pyrogallol and 4-methyl catechol. On the other hand, sodium azide showed the inhibitory activity with catechol and 4-methyl catechol and these IC₅₀ values were 1.410 and 2.051 mM, respectively. But, it did not show any inhibitory activity with pyrogallol.

4. Conclusion

From the experimental results, garlic extracts can be used as an inhibitor source for preventing the enzymatic browning of different PPOs. The fact that garlic extracts subjected to heat treatment at high temperatures show the higher inhibition effect may

be due to the increasing kinetic energies of the substances reacting with increasing temperature and the denature of the structures of some substances that prevent inhibition in garlic extracts with increasing temperature. In comparison with the values in the literature, garlic extracts had a very high inhibitory potency against PPO activity. Among the inhibitors of PPO known in the literature and used in this study, ascorbic acid had the greatest inhibitory potency for mint PPO.

References

- [1] LEE, MK. et al., Prevention of Browning in Potato with a Heat-treated Onion Extract, **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, 66(4), 856–858, (2002).
- [2] Bustos, MC., Mazzobre, MF. and Buera, MP., Stabilization of refrigerated avocado pulp: Effect of Allium and Brassica extracts on enzymatic browning, **LWT - Food Science and Technology**, 61(1), 89–97, (2015).
- [3] Güneş, FE., Süflitler ve Gıda Katkı Maddesi Olarak Kullanılması, **Academic Food Journal**, 12(2), 114–119, (2014).
- [4] Wills, FD., Enzyme Inhibition by Allicin, the Active Principle of Garlic, **Biochemical Journal**, 63, 514–520, (1956).
- [5] Kumar, M. and Berwal, JS., Sensitivity of food pathogens to garlic (*Allium sativum*), **Journal of Applied Microbiology**, 84(2), 213–215, (1998).
- [6] Davis, L., Shen, J. and Royer, R., In Vitro Synergism of Concentrated Allium sativum Extract and Amphotericin B against *Cryptococcus neoformans*, **Planta Medica**, 60(6), 546–549, (1994).
- [7] Wilson, CL., Solar, JM., Ghaouth, AE. and Wisniewski, ME., Rapid Evaluation of Plant Extracts and Essential Oils for Antifungal Activity Against *Botrytis cinerea*, **Plant Disease**, 81(2), 204–210, (1997).
- [8] Doğan, S., Turan, P., Doğan, M., Arslan, O. and Alkan, M., Purification and characterization of *Ocimum basilicum* L. polyphenol oxidase, **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 53(26), 10224–10230, (2005).
- [9] Anosike, EO. and Ayaebene, AO., Purification and some properties of polyphenol oxidase from the yam tubers, *Dioscorea bulbifera*, **Phytochemistry**, 20(12), 2625–2628, (1981).
- [10] Doğan, M., Arslan, O. and Doğan, S., Substrate specificity, heat inactivation and inhibition of polyphenol oxidase from different aubergine cultivars, **International Journal of Food Science and Technology**, 37(4), 415–423, (2002).
- [11] Arslan, O., Temur, A. and Tozlu, İ., Polyphenol Oxidase from Malatya Apricot (*Prunus armeniaca* L.), **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 46(4), 1239–1241, (1998).
- [12] Dogan, S., Turan, Y., Erturk, H. and Arslan, O., Characterization and purification of polyphenol oxidase from artichoke (*Cynara scolymus* L.), **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 53(3), 776–785, (2005).
- [13] Dogan, S. and Dogan, M., Determination of kinetic properties of polyphenol oxidase from *Thymus* (*Thymus longicaulis* subsp. *chaubardii* var. *chaubardii*), **Food Chemistry**, 88(1), 69–77, (2004).
- [14] Doğan, S. and Salman, Ü., Partial characterization of lettuce (*Lactuca sativa* L.) polyphenol oxidase. **European Food Research and Technology**, 226(1–2), 93–103, (2007).
- [15] Augustin, MA., Ghazali, HM. and Hashim, H., Polyphenoloxidase from guava

- (*Psidium guajava* L.), **Journal of The Science Food and Agriculture**, 36(12), 1259–1265, (1985).
- [16] Chen, X., Ren, L., Li, M., Qian, J., Fan, J. and Du, B., Effects of clove essential oil and eugenol on quality and browning control of fresh-cut lettuce, **Food Chemistry**, 214, 432–439, (2017).
- [17] Baltas, N., Pakyildiz, S., Can, Z., Dincer, B. and Kolayli, S., Biochemical properties of partially purified polyphenol oxidase and phenolic compounds of *Prunus spinosa* L. subsp. *dasyphylla* as measured by HPLC-UV, **International Journal of Food Properties**, 20, 1377–1391, (2017).

On new modular sequence space defined over 2-normed spaces

Gülcan ATICI TURAN*

Department of Mathematics, University of Muş Alparslan, Muş, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 06.07.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 17.09.2019

Abstract

In this paper, a new sequence space $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ is defined by using a sequence of Orlicz functions in 2-normed spaces. Some various properties and some inclusions are also examined on this space.

Keywords: Orlicz function, sequence spaces, 2-norm, paranormed spaces.

2-normlu uzaylarda tanımlı yeni modular dizi uzayı

Öz

Bu çalışmada, 2-normlu uzaylarda Orlicz fonksiyonlarının bir dizisi kullanılarak $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ yeni dizi uzayı tanımlanmıştır. Ayrıca bu uzayın bazı özellikleri ve bazı kapsama bağıntıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orlicz fonksiyon, dizi uzayları, 2-norm, paranormlu uzaylar.

1. Introduction

The concept of 2-normed spaces was introduced and studied by Siegfried Gähler, a German Mathematician who worked at German Academy of Science, Berlin, in a series of paper in German language published in Mathematische Nachrichten, see for example references [1,2]. This notion which is nothing but a two dimensional analogue of a normed space got the attention of a wider audience after the publication of a paper by Albert George, White Jr. of USA in 1969 entitled 2-Banach spaces [3]. In the same year Gähler published another paper on this theme in the same journal [1]. A.H. Siddiqi

* Gülcan ATICI TURAN, gatici23@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1009-6072>

delivered a series of lectures on this theme in various conferences in India and Iran. His joint paper with Gähler et al. [4] of 1975 also provide valuable results related to the theme of this paper. Results up to 1977 were summarized in the survey paper by Siddiqi [5].

An Orlicz function $M : [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ is a function, which is continuous, nondecreasing and convex such that $M(0) = 0$, $M(x) > 0$ for $x > 0$ and $M(x) \rightarrow \infty$ as $x \rightarrow \infty$.

Note that for M is an Orlicz function, we have $M(\lambda x) \leq \lambda M(x)$ where $0 \leq \lambda \leq 1$
 ℓ_M sequence space defined as following:

$$\ell_M = \left\{ x \in w: \sum_{k=1}^{\infty} \left(M \left(\frac{|x_k|}{\rho} \right) \right) < \infty, \text{ for some } \rho > 0 \right\} [6].$$

Let X be a real linear space and $\|.,.\|$ is defined a real valued mapping on $X \times X$. For $x, y, z \in X$ and $\lambda \in \mathbb{R}$, the function $\|.,.\|$, which satisfies the following conditions is called 2-norm and the pair $(X, \|.,.\|)$ is called a linear 2-normed space or shortly 2-normed space. $\|.,.\|$ is a non-negative function.

- (N₁) $\|x, y\| = 0$ if and only if x and y are linearly dependent;
- (N₂) $\|x, y\| = \|y, x\|$;
- (N₃) $\|\lambda x, y\| = |\lambda| \|x, y\|$, $\lambda \in \mathbb{R}$;
- (N₄) $\|x, y + z\| \leq \|x, y\| + \|x, z\|$.

$(X, \|.,.\|)$ is a 2-Banach space if every Cauchy sequence in X is convergent to some x in X [7].

Let X be a linear metric space. A function $g: X \rightarrow \mathbb{R}$ is called paranorm, if

- (i) $g(x) \geq 0$, for all $x \in X$
- (ii) $g(-x) = g(x)$, for all $x \in X$
- (iii) $g(x + y) \leq g(x) + g(y)$, for all $x, y \in X$
- (iv) if (μ_n) is a sequence of scalars with $\mu_n \rightarrow \mu$ as $n \rightarrow \infty$ and (x_n) is a sequence of vectors with $g(x_n - x) \rightarrow 0$ as $n \rightarrow \infty$, then $g(\mu_n x_n - \mu x) \rightarrow 0$ as $n \rightarrow \infty$ [8].

A scalar valued paranormed sequence space (F, g_F) , where g_F is a paranorm on F is called monotone paranormed space if $x = (x_k), y = (y_k) \in F$ and $|x_k| \leq |y_k|$ for all k implies $g_F(x) \leq g_F(y)$ [8].

Definition 1.1. Let X be a sequence space.

- (i) If $y = (y_k) \in X$ whenever $|y_i| \leq |x_i|$, $i \geq 1$ for some $x = (x_k) \in X$, then X is called solid (or normal).
- (ii) If $(x_k) \in X$ implies $(X_{\pi(k)}) \in X$ such that $\pi(k)$ is a permutation of \mathbb{N} , then X is called symmetric [9].

U is showed as the set of all real sequences $u = (u_k)$, where $u_k > 0$ for all $k \in \mathbb{N}$.

Throughout this study the following inequality will be used. Let $p = (p_k)$ be a positive sequence of real numbers with $0 < p_k \leq \sup p_k = H, D = \max(1, 2^{H-1})$, then for all $a_k, b_k \in \mathbb{C}$, we have

$$|a_k + b_k|^{p_k} \leq D\{|a_k|^{p_k} + |b_k|^{p_k}\}. \tag{1}$$

2. Main results

Let (F, g_F) be a normal paranormed sequence space with paranorm g_F which satisfies the following properties:

- (i) g_F is a monotone paranorm;
- (ii) coordinatewise convergence implies convergence in paranorm g_F , which implies that for each $(X^n) = (X_k^n) \in F, n, k \in \mathbb{N}, X_k^n \rightarrow 0$ as $n \rightarrow \infty$ (for each k) $\Rightarrow g_F(X^n) \rightarrow 0$ as $n \rightarrow \infty$ [10].

Let $(N, \|\cdot, \cdot\|)$ be a 2-normed space and $\mathcal{M} = (M_k)$ be a sequence of Orlicz functions. Further, let $p = (p_k)$ be a bounded sequence of strictly positive real numbers. We define the set:

$$F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u) = \left\{ X = (X_k) : X_k \in N, \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \in F, \text{ for some } \rho > 0 \right\}$$

for every $Z \in N$.

For $p_k = 1$ for all $k \in \mathbb{N}$, we write this space as $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, u)$.

Theorem 2.1. If $\mathcal{M} = (M_k)$ is a sequence of Orlicz functions then $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ is a linear space.

Proof. Let $X = (X_k), Y = (Y_k) \in F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ and $a, b \in \mathbb{R}$, thus there are some positive numbers ρ_1 and ρ_2 such that

$$\left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho_1} \right) \right]^{p_k} \right) \in F \quad \text{and} \quad \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|Y_k, Z\|}{\rho_2} \right) \right]^{p_k} \right) \in F$$

for every $Z \in N$. Define $\rho = \max\{2|a|\rho_1, 2|b|\rho_2\}$. Because of the definition of the Orlicz function, we can write

$$\begin{aligned} u_k \left[M_k \left(\frac{\|aX_k + bY_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} &\leq u_k \left[M_k \left(\frac{\|aX_k, Z\| + \|bY_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \\ &< u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho_1} \right) + M_k \left(\frac{\|Y_k, Z\|}{\rho_2} \right) \right]^{p_k} \\ &\leq Du_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho_1} \right) \right]^{p_k} + Du_k \left[M_k \left(\frac{\|Y_k, Z\|}{\rho_2} \right) \right]^{p_k} \in F, \end{aligned}$$

such that $D = \max\{1, 2^{H-1}\}$. Therefore $aX + bY \in F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$. Hence $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ is a linear space.

Theorem 2.2. For any sequence $\mathcal{M} = (M_k)$ of Orlicz function, $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ is a paranormed space with

$$g_T(X) = \inf \left\{ \rho^{\frac{p_k}{T}} > 0 : \left[g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \right]^{\frac{1}{T}} \leq 1, k = 1, 2, \dots \right\} \quad (2)$$

such that $T = \max(1, H)$, $H = \sup_k p_k < \infty$ and $\inf p_k > 0$ and for $Z \in N$.

Proof. It is easy to prove that $g_T(\theta) = 0$ and $g_T(-X) = g_T(X)$. Since g_F is monotone and when $a = b = 1$ is taken in the proof of Theorem 2.1, we write $g_T(X + Y) \leq g_T(X) + g_T(Y)$ for $X = (X_k), Y = (Y_k) \in F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$.

Let $\lambda \neq 0$ be any complex number. Because of the continuity of the scalar multiplication, we can write

$$\begin{aligned} g_T(\lambda X) &= \inf \left\{ \rho^{\frac{p_k}{T}} > 0 : \left[g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|\lambda X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \right]^{\frac{1}{T}} \leq 1, k = 1, 2, \dots \right\} \\ &= \inf \left\{ (|\lambda|r)^{\frac{p_k}{T}} > 0 : \left[g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{r} \right) \right]^{p_k} \right) \right]^{\frac{1}{T}} \leq 1, k = 1, 2, \dots \right\} \end{aligned}$$

where $r = \rho/|\lambda|$.

Since $|\lambda|^{p_k} \leq \max(1, |\lambda|^H)$. We have $|\lambda|^{\frac{p_k}{T}} \leq (\max(1, |\lambda|^H))^{\frac{1}{T}}$. Thus $g_T(\lambda X)$ converges to zero when $g_T(X)$ converges to zero in $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$.

Let $X = (X_k) \in F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ and assume that $\lambda_n \rightarrow 0$ as $n \rightarrow \infty$. Let $\varepsilon > 0$ and K be a positive integer. Then we can write

$$g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) < \left(\frac{\varepsilon}{2} \right)^T$$

every some $\rho > 0$ and for $k > K$ such that $k \in N$,

$$\left[g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \right]^{\frac{1}{T}} \leq \frac{\varepsilon}{2}.$$

Let $0 < |\lambda| < 1$. Because of the definition of the Orlicz function and by the condition (iii) of 2-norm, we have

$$\begin{aligned} g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|\lambda X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) &= g_F \left(u_k \left[M_k \left(|\lambda| \frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \\ &< g_F \left(u_k \left[|\lambda| M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &< g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \\ &< \left(\frac{\varepsilon}{2} \right)^T \end{aligned}$$

for $k > K$. Since M is continuous everywhere in $[0, \infty)$ and by the definition of g_F , it follows that for $k \leq K$

$$\varphi(t) = g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|tX_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right)$$

is continuous at 0. Therefore $|\varphi(t)| < \frac{\varepsilon}{2}$ for $0 < t < \delta$ such that $0 < \delta < 1$. Let L be any integer such that $|\lambda_n| < \delta$ for $n > L$, then

$$\left[g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|\lambda_n X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \right]^{\frac{1}{T}} < \frac{\varepsilon}{2}$$

for $n > L$ and $k \leq K$. Therefore

$$\left[g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|\lambda_n X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \right]^{\frac{1}{T}} < \varepsilon$$

for $n > L$ and for all k . So $\lambda_n X \rightarrow \theta$ as $n \rightarrow \infty$. This completes the proof of the theorem.

Theorem 2.3. Let $(N, \|\cdot, \cdot\|)$ be a 2-Banach space, then the space $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ is a complete paranormed space with $g_T(X)$, where F is a K -space.

Proof. The proof is routine verification by using standard arguments and therefore omitted.

Theorem 2.4. If F is a K -space, then $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ is a K -space.

Proof. Let us define a mapping $\tau_n: F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u) \rightarrow N$ by $\tau_n(X) = X_n, \forall n \in \mathbb{N}$. Our aim is to show τ_n is continuous.

Let (X^m) be a sequence in $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ such that $X^m \xrightarrow{g} 0$ as $m \rightarrow \infty$. Then for some suitable choice of $\rho > 0$,

$$\left[g_F \left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k^m, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \right) \right]^{\frac{1}{T}} \rightarrow 0$$

as $m \rightarrow \infty$. Since F is a K -space, this implies that for each k and as m tending to ∞ ,

$$u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k^m, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \rightarrow 0$$

for some $\rho > 0$. Since M_k be a sequence of Orlicz functions, it follows that $\|X_k^m, Z\| \rightarrow 0$ as $m \rightarrow \infty$. Consequently, $X^m \rightarrow 0$ in N .

Theorem 2.5. Let \mathcal{M} and \mathcal{T} be two sequence of Orlicz functions. Then

$$F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u) \cap F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{T}, p, u) \subseteq F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M} + \mathcal{T}, p, u)$$

where F is a normal sequence space.

Proof. Let $X = (X_k) \in F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u) \cap F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{T}, p, u)$. Then we can choose $\rho_1, \rho_2 > 0$ such that

$$\left(u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho_1} \right) \right]^{p_k} \right) \in F \text{ and } \left(u_k \left[T_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho_2} \right) \right]^{p_k} \right) \in F.$$

Define $\rho = \max\{\rho_1, \rho_2\}$. We can write

$$u_k \left[(M_k + T_k) \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \leq u_k D \left\{ \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho_1} \right) \right]^{p_k} + \left[T_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho_2} \right) \right]^{p_k} \right\} \in F,$$

where $D = \max\{1, 2^{H-1}\}$. Since F is normal, $X \in F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M} + \mathcal{T}, p, u)$.

Theorem 2.6. Let $\mathcal{M} = (M_k)$ be a sequence of Orlicz functions. Then $c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u) \subset c(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u) \subset \ell_\infty(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$.

Proof. It is obvious that $c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u) \subset c(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$. The second inclusion follows from the following inequality. Let $X = (X_k) \in c(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ and for some $\rho = 2\mu > 0$, we obtain

$$u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \leq u_k D \left[M_k \left(\frac{\|X_k - L, Z\|}{\mu} \right) \right]^{p_k} + u_k D \max \left\{ 1, \left[M_k \left(\frac{\|L, Z\|}{\mu} \right) \right]^H \right\}.$$

Thus $X = (X_k) \in \ell_\infty(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$.

Theorem 2.7. Let $\mathcal{M} = (M_k)$ be a sequence of Orlicz functions. Then

- (i) If $0 < \inf p_k \leq p_k \leq 1$, then $c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, u) \subset c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$;
- (ii) If $1 \leq p_k \leq \sup p_k < \infty$, then $c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u) \subset c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, u)$.

Proof. (i) Let $X = (X_k) \in c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, u)$. Since $0 < \inf p_k \leq p_k \leq 1$, then we have

$$\left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \leq M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right).$$

Therefore $X = (X_k) \in c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$.

(ii) Let $1 \leq p_k \leq \sup p_k < \infty$ and $X = (X_k) \in c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$. Then for each $0 < \varepsilon < 1$ there is a positive integer L such that

$$u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k} \leq \varepsilon < 1, \quad \forall k \geq L.$$

Since $1 \leq p_k \leq \text{supp}_k < \infty$, then we have

$$u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right] \leq u_k \left[M_k \left(\frac{\|X_k, Z\|}{\rho} \right) \right]^{p_k}.$$

Therefore $X = (X_k) \in c_0(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, u)$. This completes the proof of the theorem.

Theorem 2.8. The space $F(\|\cdot, \cdot\|, \mathcal{M}, p, u)$ is both solid(normal) and symmetric.

Proof. The proof is similar to [10].

References

- [1] Gähler, S., Über 2-Banach räume, **Mathematische Nachrichten**, 42, 335-347, (1969).
- [2] Diminnie, C., Gähler, S. and White Jr. A.G., 2-inner product spaces, **Demonstrario Mathematica**, 6, 525-536, (1973).
- [3] White Jr. A.G., 2-Banach spaces, **Mathematische Nachrichten**, 42, 43-60, (1969).
- [4] Gähler, S., Siddiqi, A.H. and Gupta, S.C., Contributions to non-archimedean functional analysis, **Mathematische Nachrichten**, 69, 162-171, (1975).
- [5] Siddiqi, A.H., 2-normed spaces, **The Aligarh Bulletin of Mathematics**, 53-70, (1980).
- [6] Lindenstrauss, J., Tzafriri, L. On Orlicz sequence spaces, **Israel Journal of Mathematics**, 101, 379-390, (1971).
- [7] Gähler, S., Lineare 2-normierte Räume, **Mathematische Nachrichten**, 28, 1-43, (1965).
- [8] Maddox, I. J., **Elements of functional analysis**, Cambridge University Press, Cambridge, (1970).
- [9] Kamthan, P.K., Gupta, M., **Sequence spaces and series**, Marcel Dekker, New York, (1981).
- [10] Dutta, H., Kılıçman, A., Altun, Ö., Topological properties of some sequences defined over 2-normed spaces, **SpringerPlus**, 5, 2-16, (2016).
- [11] Dutta, H., Some statistically convergent difference sequence spaces defined over real 2-normed linear spaces, **Applied Sciences**, 12, 37-47, (2010).
- [12] Bektaş, Ç.A., Altin, Y., The sequence space $l_M(p, q, s)$ on seminormed spaces, **Indian Journal of Pure Applied Mathematics**, 34(4), 529-534, (2003).
- [13] Rao, M.M., Ren, Z.D., **Theory on Orlicz spaces**, Marcel Dekker, New York, (1991).
- [14] Gürdal, M. and Şahiner, A., Ideal Convergence in n-normed spaces and some new sequence spaces via n-norm, **Journal of Fundamental Sciences**, 4(1), 233-244, (2008).
- [15] Şahiner, A., Gürdal, M., Saltan, S. and Gunawan, H., Ideal convergence in 2-normed spaces, **Taiwanese Journal of Mathematics**, 11(5), 1477-1484, (2007).
- [16] Şahiner, A. and Gürdal, M., New sequence spaces in n-normed spaces with respect to an Orlicz function, **The Aligarh Bulletin of Mathematics**, 27(1), 53-58, (2008).

Alternative characterizations of some linear combinations of an idempotent matrix and a tripotent matrix that commute

Tuğba PETİK*, Burak Tufan GÖKMEN

Sakarya University, Department of Mathematics, 54187, Sakarya, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 16.08.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 14.11.2019

Abstract

In this work, first, Theorem 2 in [1] [Yao, H., Sun, Y., Xu, C., and Bu, C., A note on linear combinations of an idempotent matrix and a tripotent matrix, *J. Appl. Math. Informatics*, 27 (5-6), 1493-1499, 2009] and Theorem 2.2 in [2][Özdemir H., Sarduvan M., Özban A.Y., Güler N., On idempotency and tripotency of linear combinations of two commuting tripotent matrices, *Appl. Math. Comput.*, 207 (1), 197-201, 2009] are reconsidered in different ways under the condition that the matrices involved in the linear combination are commutative. Thus, it is seen that there are some missing results in Theorem 2 in [1]. Then, by considering the obtained results and doing some detailed investigations, it is given a new characterization, without any restriction on the involved matrices except for commutativity, of a linear combination of an idempotent and a tripotent matrix that commute.

Keywords: Idempotent matrix, tripotent matrix, linear combination, commutativity.

Değişmeli bir idempotent ve bir tripotent matrisin bazı lineer kombinasyonlarının alternatif karakterizasyonları

Öz

Bu çalışmada ilk olarak [1][Yao, H., Sun, Y., Xu, C., and Bu, C., A note on linear combinations of an idempotent matrix and a tripotent matrix, *J. Appl. Math. Informatics*, 27 (5-6), 1493-1499, 2009]'deki Teorem 2 ve [2][Özdemir H., Sarduvan M., Özban A.Y., Güler N., On idempotency and tripotency of linear combinations of two

* Tuğba PETİK, tpetik@sakarya.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-4635-2776>

Burak Tufan GÖKMEN, tg.tufangokmen@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0506-2449>

commuting tripotent matrices, Appl. Math. Comput., 207 (1), 197-201, 2009]'deki Teorem 2.2, lineer kombinasyonda içerilen matrislerin değişmeli olması koşulu altında farklı tarzlarda yeniden ele alınmaktadır. Böylece, [1]'deki Teorem 2'de bazı eksik sonuçların mevcut olduğu görülmüştür. Daha sonra elde edilen sonuçları göz önüne alarak ve bazı detaylı incelemeler yaparak, değişmeli bir idempotent ve bir tripotent matrisin bir lineer kombinasyonunun, içerilen matrisler üzerinde değişmelilik dışında herhangi bir kısıtlama olmaksızın, yeni bir karakterizasyonu verilmektedir.

Anahtar kelimeler: İdempotent matris, tripotent matris, lineer kombinasyon, değişmelilik.

1. Introduction

Let \mathbb{C} be the field of complex numbers and \mathbb{C}^* be the set of nonzero complex numbers. For a positive integer n , let \mathbb{C}_n be the set of all $n \times n$ complex matrices over \mathbb{C} . The symbols I and $\mathbf{0}$ stand for the identity and zero matrices of appropriate sizes, respectively. Also, the similarity and the direct sum of two matrices A and B are denoted by $A \sim B$ and $A \oplus B$, respectively.

Let us recall some definitions and concepts from the matrix algebra. A matrix $A \in \mathbb{C}_n$ is called an idempotent matrix if $A^2 = A$. Also, if $A^2 = -A$, then the matrix A is defined as a skew-idempotent matrix. Note that A is idempotent if and only if $-A$ is a skew-idempotent. In addition, a matrix $A \in \mathbb{C}_n$ is called a tripotent matrix if $A^3 = A$. And also, if $A^3 = A$ and $A^2 \neq \pm A$, then the matrix $A \in \mathbb{C}_n$ is called an essentially tripotent matrix. So, an essentially tripotent matrix is a tripotent matrix which is not idempotent or skew-idempotent.

It has been extensively studied the problem of characterization of a linear combination of special types of matrices since 2000 [3]. Baksalary et al. have established all situations for idempotency of linear combinations of an idempotent matrix and an essentially tripotent matrix in 2002 [4]. In that work, it has been used the fact that for an essentially tripotent matrix A , there exist two disjoint idempotent matrices B_1 and B_2 such that $A = B_1 - B_2$. So, in that study, the results have been stated in terms of the idempotents. Then Yao et al. have considered the same problem in a different way in 2009 [1]. They have stated the results in terms of the matrices involved in the linear combination. Özdemir et al. in 2009, have obtained the sets of necessary and sufficient conditions for the idempotency or tripotency of a linear combination of two commuting tripotent matrices [2]. Actually, the first two studies above consist of different characterizations of the same problem. In the third study, unlike previous ones, both of the matrices in the linear combination belong to the set of tripotent matrices while in the preceding two works, one of the matrices is idempotent and the other is tripotent. There are a lot of studies related to these subjects in the literature. For details, it can be seen the references [1-14].

In this work, first, Theorem 2 in [1] is given by restricting to the case $A_1A_2 = A_2A_1$ in a different way. And then, implicit results in this theorem are stated in explicit forms. To do so, block forms of matrices are used, and then all items of the theorem are partitioned to the subcases. The purpose of doing so is to do the characterization more distinctive. Next, Theorem 2.2 of [2] is stated by restricting to the case $A_2^2 = A_2$. This restriction is

done by keeping in mind the different hypotheses of the theorems. And then, Theorem 1 (a) of [4] is considered. This theorem is stated in terms of an idempotent and a tripotent while Baksalary et al. have stated in terms of three idempotents. To do so, it is used the fact that a tripotent matrix A can be written as $A = \frac{1}{2}(A^2 + A) - \frac{1}{2}(A^2 - A)$. It is seen that the results emerging after these discussions are compatible with each other. Finally, it is established a result related to the idempotency of a linear combination of an idempotent and a tripotent matrix without any conditions other than commutativity. And the items of the theorem is partitioned to the subcases. These subcases divide the results according to the form of tripotent matrix involved in the linear combination. Thanks to this, the results about the characterization can be examined in detail.

2. Results

Yao et al. have established in [1] all cases for the characterization of the idempotency of linear combinations of an idempotent and a tripotent matrix as follows:

Theorem 2.1. ([1], Page 1496) Let A_1 and A_2 be a nonzero complex tripotent matrix and an idempotent matrix, respectively. Let A be a linear combination of the form $a_1A_1 + a_2A_2$ with $a_1, a_2 \in \mathbb{C}^*$. Then the following list comprises characterization of all cases in which A is an idempotent matrix:

- (i) $A_1A_2 + A_2A_1 + a_1A_1^2 - A_1 = \mathbf{0}$ holds along with $a_1 \in \mathbb{C}^*$, $a_2 = 1$, and when $a_1 \neq \pm 1, p = q$ where $p + q = rank A_1$;
- (ii) $A_1A_2 + A_2A_1 = A_2 + \frac{1}{2}(A_1^2 + A_1)$ holds along with $a_1 = -1, a_2 = 2$;
- (iii) $A_1A_2 + A_2A_1 = A_2 + 2A_1 - A_1^2$ holds along with $a_1 = \frac{1}{2}, a_2 = \frac{1}{2}$;
- (iv) $A_1A_2 + A_2A_1 = -A_2 + \frac{1}{2}(A_1 - A_1^2)$ holds along with $a_1 = 1, a_2 = 2$;
- (v) $A_1A_2 + A_2A_1 = A_1^2 + 2A_1 - A_2$ holds along with $a_1 = -\frac{1}{2}, a_2 = \frac{1}{2}$.

If $A_1A_2 = A_2A_1$, then the preceding theorem turns into the following.

Theorem 2.2. Let A_1 and A_2 be a nonzero complex tripotent matrix and an idempotent matrix, respectively. Let A be a linear combination of the form $a_1A_1 + a_2A_2$ with $a_1, a_2 \in \mathbb{C}^*$. If $A_1A_2 = A_2A_1$, then the following list comprises characterization of all cases in which A is an idempotent matrix:

- (i) $2A_1A_2 + a_1A_1^2 - A_1 = \mathbf{0}$ holds along with $a_1 \in \{-1, 1\}, a_2 = 1$;
- (ii) $2A_1A_2 = A_2 + \frac{1}{2}(A_1^2 + A_1)$ holds along with $a_1 = -1, a_2 = 2$;
- (iii) $2A_1A_2 = A_2 + 2A_1 - A_1^2$ holds along with $a_1 = \frac{1}{2}, a_2 = \frac{1}{2}$;
- (iv) $2A_1A_2 = -A_2 + \frac{1}{2}(A_1 - A_1^2)$ holds along with $a_1 = 1, a_2 = 2$;
- (v) $2A_1A_2 = A_1^2 + 2A_1 - A_2$ holds along with $a_1 = -\frac{1}{2}, a_2 = \frac{1}{2}$.

Notice that $a_1 = -1$ or $a_1 = 1$ in Theorem 2.2 (i), while $a_1 \in \mathbb{C}^*$ in Theorem 2.1 (i). Now, we shall prove this case.

Since A_2 is a nonzero complex idempotent matrix, there exists a nonsingular matrix S such that

$$A_2 = S \begin{pmatrix} I & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{pmatrix} S^{-1}. \quad (1)$$

Let us write the matrix A_1 as follows:

$$A_1 = S \begin{pmatrix} K & L \\ M & N \end{pmatrix} S^{-1}, \quad (2)$$

where the sizes of the blocks of A_1 are suitable with the sizes of the blocks of A_2 . Considering the condition $A_1A_2 = A_2A_1$ together with (1) and (2) leads to $L = \mathbf{0}$ and $M = \mathbf{0}$. So, we get

$$A_1 = S \begin{pmatrix} K & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & N \end{pmatrix} S^{-1} \quad (3)$$

if $A_1A_2 = A_2A_1$. Notice that $K^3 = K$ and $N^3 = N$ since $A_1^3 = A_1$. On the other hand, from (i), we know that $2A_1A_2 + a_1A_1^2 - A_1 = \mathbf{0}$. If (1) and (3) are substituted into the last equality, then it is obtained

$$K + a_1K^2 = \mathbf{0} \text{ and } a_1N^2 - N = \mathbf{0}. \quad (4)$$

If we postmultiply the first equality of (4) by a_1K and use the equality $K^3 = K$, then we get

$$a_1K^2 + a_1^2K = \mathbf{0}. \quad (5)$$

Since $a_1K^2 = -K$ by (4), it is obvious from (5) that $-K + a_1^2K = \mathbf{0}$, that is $K = a_1^2K$. On the other hand, postmultiplying the second equality of (4) by a_1N in view of $N^3 = N$ leads to

$$a_1^2N - a_1N^2 = \mathbf{0}. \quad (6)$$

From the second equality of (4) and (6), we get $a_1N^2 = N$. So, from the equalities of (4), we arrive at

$$K = a_1^2K \text{ and } N = a_1^2N. \quad (7)$$

Then, we have $K \neq \mathbf{0}$ or $N \neq \mathbf{0}$ since $A_1 \neq \mathbf{0}$. If $K \neq \mathbf{0}$, then $a_1^2 = 1$, that is $a_1 = \pm 1$ from the first equality of (7). Similarly, if $N \neq \mathbf{0}$, then $a_1^2 = 1$, therefore $a_1 = \pm 1$ from the second equality of (7). So, in both situation, we get $a_1 = \pm 1$.

Now, we shall examine, in great detail, the matrix equalities in Theorem 2.2.

In case $a_1 = 1$, Theorem 2.2 (i) turns into the equality

$$2A_1A_2 + A_1^2 - A_1 = \mathbf{0}. \quad (8)$$

Since $a_1 = 1$, it is obvious that

$$K^2 = -K \text{ and } N^2 = N \tag{9}$$

from the equalities of (4). The equalities of (9) state that K is a skew-idempotent matrix and N is an idempotent matrix. It is seen that studying with diagonal forms of these matrices is enough since the matrices K and I (of A_2) are commutative, and similarly, the matrices N and $\mathbf{0}$ (of A_2) are commutative. For that reason, we shall proceed by taking the diagonal forms of K and N .

The diagonal form of K can be $\mathbf{0}$, $-I$, or $-I \oplus \mathbf{0}$. Similarly, the diagonal form of N can be $\mathbf{0}$, I , or $I \oplus \mathbf{0}$. On the other hand, we know that at least one of the matrices K and N must be nonzero. So, the possible cases for the pair (K, N) are

$$\begin{aligned} (K, N) &\sim (\mathbf{0}, I), \\ (K, N) &\sim (\mathbf{0}, I \oplus \mathbf{0}), \\ (K, N) &\sim (-I, \mathbf{0}), \\ (K, N) &\sim (-I, I), \\ (K, N) &\sim (-I, I \oplus \mathbf{0}), \\ (K, N) &\sim (-I \oplus \mathbf{0}, \mathbf{0}), \\ (K, N) &\sim (-I \oplus \mathbf{0}, I), \\ (K, N) &\sim (-I \oplus \mathbf{0}, I \oplus \mathbf{0}). \end{aligned}$$

If each of these cases together with (1), (3), and (8) are considered, then the following matrix equalities, respectively, are obtained:

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= I, A_1^2 = A_1, \\ A_1^2 &= A_1, A_1 A_2 = \mathbf{0}, \\ A_1^2 &= -A_1 = A_2, \\ A_1^2 &= I, A_2 = \frac{1}{2} (I - A_1), \\ A_2 &= \frac{1}{2} (A_1^2 - A_1), \\ A_1^2 &= -A_1 = -A_1 A_2, \\ -A_1 A_2 &= \frac{1}{2} (A_1^2 - A_1), \\ -A_1 A_2 &= \frac{1}{2} (A_1^2 - A_1). \end{aligned} \tag{10}$$

Thus, in Theorem 2.2 (i), in case $(a_1, a_2) = (1, 1)$, we get the matrix equalities given above.

Now, we shall consider the case $a_1 = -1$. In this case, we have

$$K^2 = K \text{ and } N^2 = -N \tag{11}$$

from the equalities of (4). The last equalities states that K is an idempotent matrix and N is a skew-idempotent matrix. So, if we consider the fact that at least one of the matrices K and N is nonzero, then all possible diagonal forms of K and N are as in the following:

$$K \sim \mathbf{0} \quad ; N \sim -I,$$

$$\begin{aligned}
 K \sim \mathbf{0} & \quad ; N \sim (-I \oplus \mathbf{0}), \\
 K \sim I & \quad ; N \sim \mathbf{0}, \\
 K \sim I & \quad ; N \sim -I, \\
 K \sim I & \quad ; N \sim (-I \oplus \mathbf{0}), \\
 K \sim (I \oplus \mathbf{0}) & ; N \sim \mathbf{0}, \\
 K \sim (I \oplus \mathbf{0}) & ; N \sim -I, \\
 K \sim (I \oplus \mathbf{0}) & ; N \sim (-I \oplus \mathbf{0}).
 \end{aligned} \tag{12}$$

Considering these cases together with (1), (3), and (8) yield the following matrix equalities, respectively.

$$\begin{aligned}
 -A_1 + A_2 &= I, \quad A_1^2 = -A_1, \\
 A_1^2 &= -A_1, \quad A_1 A_2 = \mathbf{0}, \\
 A_1^2 &= A_1 = A_2, \\
 A_1^2 &= I, \quad A_2 = \frac{1}{2} (I + A_1), \\
 A_2 &= \frac{1}{2} (A_1^2 + A_1), \\
 A_1^2 &= A_1 = A_1 A_2, \\
 A_1 A_2 &= \frac{1}{2} (A_1^2 + A_1), \\
 A_1 A_2 &= \frac{1}{2} (A_1^2 + A_1).
 \end{aligned} \tag{13}$$

Thus, if $(a_1, a_2) = (-1, 1)$ in Theorem 2.2 (i), then we get the matrix equalities given above. Note that the last two equalities of (10) are the same. And, similarly, the last two equalities of (13) are the same.

Now, we shall consider Theorem 2.2 (ii). If the equality

$$2A_1 A_2 = A_2 + \frac{1}{2}(A_1^2 + A_1) \tag{14}$$

is premultiplied by $2A_1$ leads to

$$4A_1^2 A_2 = 2A_1 A_2 + A_1 + A_1^2. \tag{15}$$

If we postmultiply the equality (15) by A_2 , then we arrive at $4A_1^2 A_2 = 2A_1 A_2 + A_1 A_2 + A_1^2 A_2$, that is, $A_1^2 A_2 = A_1 A_2$. From (1) and (3), we obtain $K^2 = K$ since $A_1^2 A_2 = A_1 A_2$. On the other hand, from (1), (3), and (14), it is seen that $K = I$ (because $K^2 = K$) and $N^2 = -N$. Thus, we get

$$A_1 = S \begin{pmatrix} I & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & N \end{pmatrix} S^{-1}, \quad N^2 = -N. \tag{16}$$

Since the matrix N is a skew-idempotent matrix, all the possible diagonal forms of N are

$$\mathbf{0}, \quad -I, \quad -I \oplus \mathbf{0}. \tag{17}$$

Considering (14) together with (1), (16), and (17) yields the following matrix equalities, respectively.

$$A_1^2 = A_1 = A_2, \quad A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2} (I + A_1), \quad A_2 = \frac{1}{2} (A_1^2 + A_1). \quad (18)$$

Thus, the item (ii) of Theorem 2.2 is partitioned into the subequalities of (18).

Now, we deal with Theorem 2.2 (iii). If (1) and (3) are substituted into the equality

$$2A_1A_2 = A_2 + 2A_1 - A_1^2, \quad (19)$$

then we get $K^2 = I$ and $N^2 = 2N$. On the other hand, since the matrix N is tripotent, the equalities $N^3 = N$ and $N^2 = 2N$ lead to $N = \mathbf{0}$. Hence, we can write

$$A_1 = S \begin{pmatrix} K & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{pmatrix} S^{-1}, \quad K^2 = I. \quad (20)$$

Because of the involutiveness of the matrix K , all the possible diagonal forms of N are

$$I, \quad -I, \quad I \oplus -I. \quad (21)$$

If we consider (19) together with (1), (20), and (21), then we arrive at the following matrix equalities, respectively.

$$A_1^2 = A_1 = A_2, \quad A_1^2 = -A_1 = A_2, \quad A_1^2 = A_2. \quad (22)$$

Notice that the equalities of (22) are the partitioned subversions of the item (iii) of Theorem 2.2.

Now, we consider item (iv) of Theorem 2.2. From the equality

$$2A_1A_2 = -A_2 + \frac{1}{2}(A_1 - A_1^2), \quad (23)$$

we get $4A_1A_2 = -2A_2 + A_1 - A_1^2$. Premultiplying the last equality by A_1 and considering $A_1^3 = A_1$; and similarly, postmultiplying by A_2 on account of $A_2^2 = A_2$ lead to $4A_1^2A_2 = -2A_1A_2 + A_1^2A_2 - A_1A_2$, that is $A_1^2A_2 = -A_1A_2$. Substituting the equalities (1) and (3) into the equality $A_1^2A_2 = -A_1A_2$ yields $K^2 = -K$. On the other hand, by taking into account (23) together with (1), (3), and $K^2 = -K$, we arrive at $K = -I$ and $N^2 = N$. So, we get

$$A_1 = S \begin{pmatrix} -I & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & N \end{pmatrix} S^{-1}, \quad N^2 = N. \quad (24)$$

Since N is an idempotent, all the possible cases are

$$N \sim \mathbf{0}, \quad N \sim I, \quad N \sim (I \oplus \mathbf{0}). \quad (25)$$

If we first put the forms of (25) into (24), and then, consider (1) together with (23), then we get the following matrix equalities, respectively.

$$A_1^2 = -A_1 = A_2, \quad A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2}(I - A_1), \quad A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 - A_1). \quad (26)$$

The matrix equalities (26) are the partitioned statements of (23).

Finally, we shall consider the item (v) of Theorem 2.2. If the statements of A_1 and A_2 in (3) and (1), respectively, are used in the equality

$$2A_1A_2 = A_1^2 + 2A_1 - A_2, \quad (27)$$

then it is obtained $K^2 = I$ and $N^2 = -2N$. Hence, we get $N = \mathbf{0}$ because of $N^3 = N$. Since K is an involutive matrix, all the possible cases for K are

$$K \sim I, \quad K \sim -I, \quad K \sim (I \oplus -I). \quad (28)$$

Since $N = \mathbf{0}$, from (3), we have

$$A_1 = S \begin{pmatrix} K & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{pmatrix} S^{-1}, \quad K^2 = I. \quad (29)$$

If, we first consider statements (28) and (29) together and then use expressions (1) and (27), then we get the following matrix equalities, respectively.

$$A_1^2 = A_1 = A_2, \quad A_1^2 = -A_1 = A_2, \quad A_1^2 = A_2. \quad (30)$$

Note that the equalities of (30) are the partitioned version of the item (v) of Theorem 2.2.

The detailed examination of the results of Theorem 2 in [1] under the condition $A_1A_2 = A_2A_1$ are listed in Table 1.

We notice that there are some missing results in Theorem 2 in [1], and therefore in Table 1. To see one of these missing results, we consider Theorem 2.2 of [2].

Özdemir et al. have established the necessary and sufficient conditions for the idempotency of two nonzero commuting tripotent matrices A_1 and A_2 with $A_1 \neq \pm A_2$ in Theorem 2.2 of [2]. On the other hand, we know that every idempotent matrix is a tripotent matrix. So, if we take $A_2^2 = A_2$ in Theorem 2.2 of [2], then we get the following theorem:

Theorem 2.3. Let $A_1, A_2 \in \mathbb{C}_n$ be a tripotent and an idempotent matrix, respectively, such that $A_1A_2 = A_2A_1$, $A_1 \neq \pm A_2$, and let $A = a_1A_1 + a_2A_2$ where $a_1, a_2 \in \mathbb{C}^*$. Then A is an idempotent matrix if and only if

- (a) $(a_1, a_2) \in \left\{ \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right), \left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right) \right\}$ and $A_1^2 = A_2$,
- (b) $(a_1, a_2) = (-1, -1)$ and $\frac{1}{2}(A_1^2 + A_1) + A_2 + A_1A_2 = \mathbf{0}$,
- (c) $(a_1, a_2) = (1, 1)$ and $\frac{1}{2}(A_1 - A_1^2) = A_1A_2$,
- (d) $(a_1, a_2) = (-1, 1)$ and $\frac{1}{2}(A_1^2 + A_1) = A_1A_2$,
- (e) $(a_1, a_2) = (1, -1)$ and $\frac{1}{2}(A_1^2 - A_1) + A_2 - A_1A_2 = \mathbf{0}$,
- (f) $(a_1, a_2) = (1, 2)$ and $A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 - A_1)$,

(g) $(a_1, a_2) = (-1, 2)$ and $A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 + A_1)$.

Note that in case $A_2^2 = A_2$, the remaining cases of Theorem 2.2 in [2] lead to some contradictions such as $A_1 = \pm A_2$, $A_1 = \mathbf{0}$, or $A_2 = \mathbf{0}$. So, we eliminate these cases in the theorem above. Observe that the item (a) of Theorem 2.3 is an implicit form of the matrix equalities, except for $A_1 = \pm A_2$, in the 5th cell in Table 1. Similarly, the items (c) and (d) of Theorem 2.3 correspond to the matrix equalities, except for $A_1 = \pm A_2$, in the cells 1 and 2, respectively, in Table 1. And finally, the items (f) and (g) of Theorem 2.3 are implicit forms of the matrix equalities, except for $A_1 = \pm A_2$, in the cells 4 and 3, respectively, in Table 1. Notice that the items (b) and (e) in Theorem 2.3 are not seen in Table 1. So, it is seen that these results have been overlooked in Theorem 2 of [1].

Now, let us consider the item (b) of Theorem 2.3. We know that the matrices A_1 and A_2 can be written as in (3) and (1), respectively.

On the other hand, since

$$\frac{1}{2}(A_1^2 + A_1) + A_2 + A_1A_2 = \mathbf{0}, \tag{31}$$

we obtain $A_2 = A_1^2A_2$. If (1) and (3) are substituted into the equality $A_2 = A_1^2A_2$, then we get $K = I$. Also, using the equality (31) together with $K^2 = I$, (1), and (3) yields $K = -I$ and $N^2 = -N$. So, it can be written

$$A_1 = S \begin{pmatrix} -I & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & N \end{pmatrix} S^{-1}, N^2 = -N. \tag{32}$$

Since N is an involutive matrix and $A_1 \neq -A_2$, all the possible cases for N are

$$N \sim -I, \quad N \sim (-I \oplus \mathbf{0}). \tag{33}$$

At first, if the statements of (33) are considered together with (32), and then (1) and (31) are used, then we get the following matrix equalities, respectively.

$$A_1 = -I, \quad A_1A_2 = -A_2, A_1^2 = -A_1. \tag{34}$$

Similarly, let us handle item (e) of Theorem 2.3. Since

$$\frac{1}{2}(A_1^2 - A_1) + A_2 - A_1A_2 = \mathbf{0}, \tag{35}$$

we get $A_1^2A_2 = A_2$. Considering (1), (3), and the equality $A_1^2A_2 = A_2$ leads to $K^2 = I$. And then, if it is used the equality (35) together with $K^2 = I$, (1) and (3), then it is obtained $K = I$ and $N^2 = N$. So, we can write

$$A_1 = S \begin{pmatrix} I & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & N \end{pmatrix} S^{-1}, N^2 = N. \tag{36}$$

From the idempotency of N and $A_1 \neq A_2$, we have

$$N \sim I, \quad N \sim (I \oplus \mathbf{0}). \quad (37)$$

Considering the statements (37) in view of (36), and then using (1) and (35) yield the following matrix equalities, respectively.

$$A_1 = I, \quad A_1 A_2 = A_2, \quad A_1^2 = A_1 \quad (38)$$

Consequently, (34) and (38) are the partitioned versions of the matrix equalities in the items (b) and (e), respectively, of Theorem 2.3. Notice that while the condition $A_1 \neq \pm A_2$ must hold in Theorem 2.2 of [2], it is not necessary to be $A_1 \neq \pm A_2$ in Theorem 2 of [1].

So, in Theorem 2.2, which is derived from Theorem 2 of [1] in case $A_1 A_2 = A_2 A_1$, it is not considered the condition $A_1 \neq \pm A_2$.

Now, what would happen in cases $A_1 = A_2$ or $A_1 = -A_2$?

Let us find $a_1, a_2 \in \mathbb{C}^*$ such that

$$(a_1 A_1 + a_2 A_2)^2 = a_1 A_1 + a_2 A_2 \quad (39)$$

in case $A_1 = A_2$. Since $A_1 = A_2$, from (39), we get

$$((a_1 + a_2)A_1)^2 = (a_1 + a_2)A_1. \quad (40)$$

Idempotency of A_1 and (40) lead to $(a_1 + a_2)^2 A_1 = (a_1 + a_2)A_1$. From this, we obtain $(a_1 + a_2)(a_1 + a_2 - 1)A_1 = \mathbf{0}$. In view of $A_1 \neq \mathbf{0}$, the last equality yields

$$a_1 + a_2 = 0 \text{ or } a_1 + a_2 = 1. \quad (41)$$

In case $A_1 = -A_2$, from (39), we get $((a_2 - a_1)A_2)^2 = (a_2 - a_1)A_2$. From this, considering that $A_2^2 = A_2$, it is obtained $(a_2 - a_1)^2 A_2 = (a_2 - a_1)A_2$. The last equality leads to $(a_2 - a_1)(a_2 - a_1 - 1)A_2 = \mathbf{0}$. Hence, we get

$$a_2 - a_1 = 0 \text{ or } a_2 - a_1 = 1 \quad (42)$$

since $A_2 \neq \mathbf{0}$. However, in Theorem 2.2, which is obtained from Theorem 2 of [1], it is not seen the results (41) and (42), while there is no the condition $A_1 \neq \pm A_2$. If it is considered Table 1 together with (34), (38), (41), and (42), then it is arrived at the following result.

Theorem 2.4. Let $A_1, A_2 \in \mathbb{C}_n$ be a tripotent and an idempotent matrix, respectively, such that $A_1 A_2 = A_2 A_1$, and let $A = a_1 A_1 + a_2 A_2$, where $a_1, a_2 \in \mathbb{C}^*$. Then A is an idempotent matrix if and only if any of the following sets of conditions holds:

(a) $(a_1, a_2) = (1, 1)$ and one of the following matrix equalities:

(a1) $A_1 + A_2 = I, \quad A_1^2 = A_1$

(a2) $A_1^2 = A_1, \quad A_1 A_2 = \mathbf{0}$

(a3) $A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2}(I - A_1)$

(a4) $A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 - A_1)$

(a5) $A_1^2 = -A_1 = -A_1A_2$

(a6) $-A_1A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 - A_1)$

(b) $(a_1, a_2) = (-1, 1)$ and one of the following matrix equalities:

(b1) $-A_1 + A_2 = I, A_1^2 = -A_1$

(b2) $A_1^2 = -A_1, A_1A_2 = \mathbf{0}$

(b3) $A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2}(I + A_1)$

(b4) $A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 + A_1)$

(b5) $A_1^2 = A_1 = A_1A_2$

(b6) $A_1A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 + A_1)$

(c) $(a_1, a_2) = (-1, -1)$ and one of the following matrix equalities:

(c1) $A_1 = -I$

(c2) $A_1A_2 = -A_2, A_1^2 = -A_1$

(d) $(a_1, a_2) = (1, -1)$ and one of the following matrix equalities:

(d1) $A_1 = I$

(d2) $A_1A_2 = A_2, A_1^2 = A_1$

(e) $(a_1, a_2) = (-1, 2)$ and one of the following matrix equalities:

(e1) $A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2}(I + A_1)$

(e2) $A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 + A_1)$

(f) $(a_1, a_2) = (1, 2)$ and one of the following matrix equalities:

(f1) $A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2}(I - A_1)$

(f2) $A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 - A_1)$

(g) $(a_1, a_2) \in \left\{ \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right), \left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right) \right\}$ and $A_1^2 = A_2$

(h) $a_1, a_2 \in \mathbb{C}^*$ with $a_1 + a_2 = 0$ or $a_1 + a_2 = 1$; $A_1 = A_2$

(i) $a_1, a_2 \in \mathbb{C}^*$ with $a_1 - a_2 = 0$ or $a_1 - a_2 = -1$; $A_1 = -A_2$.

Note that there are matrix equalities such as $A_1 = A_2$ or $A_1 = -A_2$ in the each cells of Table 1. However, these matrix equalities are special cases of Theorem 2.4 (h) and (i). So, it is not taken into consideration these type of matrix equalities when it is moved the results in Table 1 to Theorem 2.4.

Baksalary et al. have established all situations for the idempotency of a linear combination of as essentially tripotent matrix and an idempotent matrix in [4]. Now, we shall state that theorem in case the matrices involved in the linear combination are commutative.

If A_1 is an essentially tripotent matrix, there exist two nonzero disjoint idempotent matrices B_1 and B_2 such that $A_1 = B_1 - B_2$. Let A_2 be an idempotent matrix and suppose that $A_1A_2 = A_2A_1$. We know that B_1 and B_2 can be written as

$$B_1 = \frac{1}{2}(A_1^2 + A_1) \text{ and } B_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 - A_1). \quad (43)$$

So, the condition $A_1A_2 = A_2A_1$ is equivalent to the equalities $A_2B_1 = B_1A_2$ and $A_2B_2 = B_2A_2$. So, in case $A_1A_2 = A_2A_1$, we shall only considered Theorem 1 (a) in [4]. If the six items of Theorem 1(a) are stated in terms of the matrices A_1 and A_2 in view of (43), then the following result is obtained:

Corollary 2.5. Let A_1 be an essentially tripotent matrix and let A_2 be an idempotent matrix such that $A_1A_2 = A_2A_1$. The linear combination of the form $a_1A_1 + a_2A_2$ is an idempotent matrix if and only if any of the following sets of conditions holds:

- (i) $(a_1, a_2) = (1,1)$ and $A_1A_2 = \frac{1}{2}(A_1 - A_1^2)$,
- (ii) $(a_1, a_2) = (1,2)$ and $A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 - A_1)$,
- (iii) $(a_1, a_2) = (-1,1)$ and $A_1A_2 = \frac{1}{2}(A_1 + A_1^2)$,
- (iv) $(a_1, a_2) = (-1,2)$ and $A_2 = \frac{1}{2}(A_1^2 + A_1)$,
- (v) $(a_1, a_2) = \left\{ \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right), \left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right) \right\}$ and $A_2 = A_1^2$.

Observe that the items (i) and (iii) of Corollary 2.5 correspond to the items (a6) and (b6) in Theorem 2.4, respectively. (Notice that the items (a3) and (a4) are special cases of the item (a6). And also, in the remaining cases of (a), the matrix A_1 is an idempotent or a skew-idempotent matrix, that is, A_1 is not an essentially tripotent matrix. Similarly, (b3) and (b4) in Theorem 2.4 are special cases of (b6). And also, in the remaining cases of (b), the matrix A_1 is an idempotent or a skew-idempotent, that is, A_1 is not an essentially tripotent matrix.)

On the other hand, items (ii) and (iv) of Corollary 2.5 correspond to items (f2) and (e2), respectively, in Theorem 2.4. (Notice that (f1) and (e1) are special cases of (f2) and (e2), respectively). The item (v) of Corollary 2.5 corresponds to the item (g) of Theorem 2.4. Note that since $A_1 = \pm A_2$, that is the tripotent matrix A_1 is particularly an idempotent or a skew-idempotent matrix, in the items (h) and (i), there is no items in Corollary 2.5 corresponding to these items.

Table 1. The summary of the results (10), (13), (18), (22), (26), and (30).

(a_1, a_2)	Matrix Equalities
(1,1)	$A_1 + A_2 = I, A_1^2 = A_1$ $A_1^2 = A_1, A_1 A_2 = \mathbf{0}$ $A_1^2 = -A_1 = A_2$ $A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2} (I - A_1)$ $A_2 = \frac{1}{2} (A_1^2 - A_1)$ $A_1^2 = -A_1 = -A_1 A_2$ $-A_1 A_2 = \frac{1}{2} (A_1^2 - A_1)$
(-1,1)	$-A_1 + A_2 = I, A_1^2 = -A_1$ $A_1^2 = -A_1, A_1 A_2 = \mathbf{0}$ $A_1^2 = A_1 = A_2$ $A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2} (I + A_1)$ $A_2 = \frac{1}{2} (A_1^2 + A_1)$ $A_1^2 = A_1 = A_1 A_2$ $A_1 A_2 = \frac{1}{2} (A_1^2 + A_1)$
(-1,2)	$A_1^2 = A_1 = A_2$ $A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2} (I + A_1)$ $A_2 = \frac{1}{2} (A_1^2 + A_1)$
(1,2)	$A_1^2 = -A_1 = A_2$ $A_1^2 = I, A_2 = \frac{1}{2} (I - A_1)$ $A_2 = \frac{1}{2} (A_1^2 - A_1)$
$\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right), \left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$	$A_1^2 = A_1 = A_2$ $A_1^2 = -A_1 = A_2$ $A_1^2 = A_2$

Acknowledgements

The authors are very grateful to two anonymous referees for the suggestions and comments which improved presentation of the paper.

References

- [1] Yao, H., Sun, Y., Xu, C., and Bu, C., A note on linear combinations of an idempotent matrix and a tripotent matrix, **Journal of Applied Mathematics and Informatics**, 27, 1493-1499, (2009).
- [2] Özdemir, H., Sarduvan, M., Özban, A.Y., and Güler, N., On idempotency and tripotency of linear combinations of two commuting tripotent matrices, **Applied Mathematics and Computation**, 207 1, 197-201, (2009).
- [3] Baksalary, J.K. and Baksalary, O.M., Idempotency of linear combinations of two idempotent matrices, **Linear Algebra and its Applications**, 321, 1, 3-7, (2000).
- [4] Baksalary, J.K., Baksalary, O.M., and Styan, G.P.H., Idempotency of linear combinations of an idempotent matrix and a tripotent matrix, **Linear Algebra and its Applications**, 354, 21-34, (2002).
- [5] Özdemir, H. and Özban, A.Y., On idempotency of linear combinations of idempotent matrices, **Applied Mathematics and Computation**, 159, 439-448, (2004).
- [6] Baksalary, J.K., Baksalary, O.M., and Özdemir, H., A note on linear combinations of commuting tripotent matrices, **Linear Algebra and its Applications**, 388, 45-51, (2004).
- [7] Benítez, J. and Thome, N., Idempotency of linear combinations of an idempotent matrix and a t-potent matrix that commute, **Linear Algebra and its Applications**, 403, 414-418, (2005).
- [8] Benítez, J. and Thome, N., Idempotency of linear combinations of an idempotent matrix and a t-potent matrix that do not commute, **Linear and Multilinear Algebra**, 56, 6, 679-687, (2008).
- [9] Sarduvan, M. and Özdemir, H., On linear combinations of two tripotent, idempotent and involutive matrices, **Applied Mathematics and Computation**, 200, 401-406, (2008).
- [10] Uç, M., Özdemir, H., and Özban, A.Y., On the quadraticity of linear combinations of quadratic matrices, **Linear and Multilinear Algebra**, 63, 6, 1125-1137, (2015).
- [11] Uç, M., Petik, T., and Özdemir, H., The generalized quadraticity of linear combinations of two commuting quadratic matrices, **Linear and Multilinear Algebra**, 64, 9, 1696-1715, (2016).
- [12] Baksalary, O.M., Idempotency of linear combinations of three idempotent matrices, two of which are disjoint, **Linear Algebra and its Applications**, 388, 67-78, (2004).
- [13] Baksalary O.M and Benítez, J., Idempotency of linear combinations of three idempotent matrices, two of which are commuting, **Linear Algebra and its Applications**, 424, 320-337, (2007).
- [14] Petik, T., Uç, M., Özdemir, H., Generalized quadraticity of linear combination of two generalized quadratic matrices, **Linear and Multilinear Algebra**, 63, 2430-2439, (2015).

Random number generator based on RF spectrum sensing: energy detector and spectral correlation function approach

Ali Rıza EKTİ*

Balikesir University Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering,
Cagis Campus, Balikesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 07.08.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.12.2019

Abstract

Wireless communication is open and more vulnerable against to authorized and unauthorized users due to the broadcasting nature of wireless radio propagation in contrast to wired networks where two devices connected to each other physically through cables. Thus, assuring a secure wireless radio communication is an important and mandatory task for the 5G and beyond wireless networks. In order to prevent the manipulation and to ensure the privacy of the information, secure cryptographic algorithms are necessary. The performance of the cryptographic algorithms heavily relies on the generation of random keys which are created from the seeds and these seeds must be random. By utilization of the random nature of the wireless spectrum, secure random keys can be produced. Therefore, in this study, spectrum sensing based random number generator (RNG) is proposed in order to detect the unknown received signal and extract the noise part of the signal by simply adopting the second order statistics of the cyclostationary process, spectral correlation function and the energy detector approaches. However, utilization of probability mass function output statistics is also introduced to distinguish the noise and unknown signal. A measurement setup is developed also considering line of sight conditions. Obtained noise statistics are used to generate the random bit streams and the results are fed into the NIST 800-22 test suite to show how well the performance of the spectrum sensing based random number generator. High quality random numbers are obtained which implies that spectrum sensing based RNG can provide secure data transfer directly without any other physical device.

Keywords: *Spectrum sensing, random number generator, cyclostationary, spectral correlation function, energy detector.*

* Ali Rıza EKTİ, arekti@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-0368-0374>

RF spektrum algılamasına dayalı rastgele sayı üreticisi: enerji dedektörü ve spektral korelasyon fonksiyonu yaklaşımı

Öz

Kablosuz iletişim, iki cihazın fiziksel olarak kablolarla birbirine bağlandığı kablolu ağların aksine, kablosuz radyo yayılımının yayın niteliği nedeniyle, yetkili ve yetkisiz kullanıcılara karşı daha açık ve daha savunmasızdır. Bu nedenle, güvenli bir kablosuz radyo iletişimini sağlamak, 5G ve ötesindeki kablosuz ağlar için önemli ve zorunlu bir görevdir. Manipülasyonu önlemek ve bilgilerin gizliliğini sağlamak için güvenli şifreleme algoritmaları gereklidir. Şifreleme algoritmalarının performansı büyük ölçüde rastgele 0 veya 1 ikili sayı bitlerinden oluşturulan rastgele anahtarların oluşturulmasına dayanır ve bu bitler rastgele olmalıdır. Kablosuz spektrumun rastgele doğası kullanılarak, güvenli rastgele anahtarlar üretilebilir. Bu nedenle, bu çalışmada, bilinmeyen alınan sinyalin tespit edilmesi ve sinyalin gürültü kısmının ayrıştırılması için sadece dönemli-durağan işleminin ikinci dereceden istatistiklerinden olan spektral korelasyon fonksiyonunu ve temel enerji dedektörü kullanılmaktadır. Bununla birlikte, gürültü ve bilinmeyen sinyalleri ayırt etmek için olasılık kütle işlevi çıktı istatistiklerinin kullanılması da tanıtılmıştır. Görüş hattı koşulları da dikkate alınarak bir ölçüm kurulumu geliştirilmiştir. Elde edilen gürültü istatistikleri, rastgele 0 veya 1 ikili sayı bitlerini üretmek için kullanılır. Ayrıca önerilen spektrum algılama tabanlı rastgele sayı üreticinin performansının ne kadar iyi olduğunu göstermek için NIST 800-22 test yazılımı kullanılmıştır. Spektrum algılamalı RNG'nin başka herhangi bir fiziksel cihaz olmadan doğrudan güvenli veri aktarımı sağlayabildiğini gösteren yüksek kalitede rastgele sayılar elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Spektrum algılama, rastgele sayı üreticisi, dönemli-durağan, spektral korelasyon fonksiyonu, enerji dedektörü.*

1. Introduction

Due to the ever-increasing demands and applications in wireless communication systems, there is a huge amount of increase in over-the-air signaling. Especially in mobile communication systems, radio frequency (RF) spectrum is getting crowded. The limited capacity in available RF spectrum, led the researchers to find better options to utilize the RF spectrum. One prominent example of is to integrate different wireless technologies and adapt the heterogeneous nature of wireless traffic by utilizing heterogeneous wireless networks to increase network capacity, coverage, data rate and so on [1,2]. However, one should note that all the aforementioned advancement can only be possible with by providing secure communication protocols. Therefore, providing privacy and security for the wireless data transmission is one of the biggest challenging task in next generation wireless networks (NGWNs) to achieve due to the heterogeneous and broadcasting nature of the wireless transmission, where the signals can be captured and recorded by malicious devices. This results not only in accessing their data illegitimately by eavesdroppers, but also in using this data to launch attacks such as identity-based attacks [3]. A great example of such attacks can be observed with Industry 4.0 revolution where many 3G/4G/5G enabled internet of things (IoT) devices are utilized in manufacturing sector in where \$178 billion is invested in 2016.

Almost one-third of all cyber attacks were launched against manufacturing sector due to the fact that even the most sophisticated manufacturing plants were not designed entirely resilient against cyber-security crimes. Furthermore, recent studies have pointed out a large number of security issues that might be caused by informed cyber-physical attacks on the communication networks ranging from service interruptions, blackouts, and economic losses to life threats. Despite intensive research efforts to defend the communications against cyber-physical attacks, there is no general solution to cope effectively with such threats. Currently, we are witnessing a huge deployment of devices, sensors, actuators, computing machines and robots that are connected to the Internet under the umbrella of a massive machine-to-machine (M2M) and IoT-ecosystem. These IoT devices and their users are expected to interact with each other over wireless links and operate in a self-organized manner to deliver intelligent services and solutions to the challenges faced by the upcoming deployment of smart cities, smart homes, and smart grids.

Based on the aforementioned reasons, providing a secure communication for mobile users and IoT devices while identifying and selecting the most appropriate network or transmission scheme is mandatory for NGWNs. Thus, all mobile devices and IoT devices are expected to generate random bit-streams through RNGs in order to prevent the data theft in the cyber-security domain and ensure the cryptography [4-7]. Hence, it is a must to use an appropriate hand-shaking protocol by using random keys for the encryption and decryption of transferring data. There are two types of RNGs named as pseudo random number generator (PRNG) which generates random numbers through software and true random number generator (TRNG) obtains the random numbers using the hardware which is hard to predict. Thus, obtaining random numbers through TRNGs is a safe process [8]. Therefore, this paper proposes an approach to obtain the RNG by utilizing the random nature of the wireless RF spectrum and sensing the noise part of the signal by simply applying cyclostationary based methods and simple energy detector method.

Smart communication devices are expected to sense, identify and detect the RF spectrum which are deployed in many commercial and tactical fields [9]. The most well-known spectrum sensing methods are cooperative sensing, feature extraction and energy detection [10-13] to select the most appropriate frequency band to initiate the communication between two devices. In literature, there are many studies focusing on experimental validation of the spectrum sensing [13,14]. Since energy detection based spectrum sensing method does not need any pre-information about received signal and computationally complex algorithms, energy detector becomes the designated optimum detector in the absence of information regarding received signal [13-15]. However, one should note that in order to achieve good results with energy detector, signal-to-noise ratio (SNR) value should be high. Especially, for the signals buried under noise, energy detector approach will not provide any accurate information regarding spectrum occupancy. With the introduction of the cyclostationary to the signal identification, the features extracted from cyclostationary process enable researchers to provide more robust signal identification methods [9,16] especially in the area of modulation identification and wireless technology identification. In [17], it is shown that cyclostationary approach can be used to identify PSK, FSK and QAM modulated signals. [18] show that second order cyclostationary features can be used to identify GSM and LTE signals by utilizing the cyclic features of the wireless air interface technology.

With that being said, the usage of the cyclostationary features such as spectral correlation function (SCF) and energy detector are not investigated for the purpose of the RNG in the literature. Therefore, in this study, it is shown that spectral correlation function output can be used as a spectrum sensing method along with the traditional energy detector approach. Thus, spectral correlation function and energy detector methods are used to distinguish the received signal and noise part of the received signal for sufficient number of samples. In addition to this, probability mass function (PMF) statistics along with energy detector algorithm is utilized to detect the binary phase shift keying (BPSK) modulated signal. We show that the performance of the energy detection changes drastically with respect to the number of samples selected at the receiver side. Furthermore, noise statistics are obtained to generate the random numbers and the results are fed into the National Institute of Standards and Technology (NIST) 800-22 test suite to show how well the performance of the spectrum sensing based RNG [19].

1.1. Organization of the paper

The rest of the paper is organized as follows: In Section 2, statement of the problem and signal model are provided. In Section 3, spectral correlation function and energy detection are given. In Section 4, the experimental setup, data collection and data processing are presented. This is followed by experimental results in Section 5. Conclusions are drawn in Section 6.

2. Signal model

In this study, the SCF output of the second-order cyclostationary statistics and energy detector approaches are used to detect the presence of the noise and then utilized to extract noise statistics to provide random seeds to generate a RNG for BPSK signal under the absence of the knowledge of the over-the-air signal.

A general expression for unknown M-PSK modulated signal can be given as [20]:

$$\varphi_{PSK}(t) = \text{Re} \left[k(t) e^{j2\pi(u-1)/M} e^{j2\pi f_c t} \right]; u = 1, \dots, M \quad (1)$$

where the carrier frequency and the signal pulse are represented as f_c and $k(t)$, respectively. The baseband received complex envelope of the received signal, $r(t)$, which is composed of unknown transmitted signal, $\varphi_{PSK}(t)$, the complex additive white Gaussian noise (AWGN), $n(t)$, with $\mathcal{CN}(0, \sigma_N^2)$, and the channel components, $h(t)$ can be shown as:

$$r(t) = h(t)\varphi(t) + n(t) = e^{j2\pi\rho t} \sum_{i=1}^L \varphi(t - \tau_i) h_i(t) + n(t) \quad (2)$$

where number of taps, channel effects, tap delays and frequency offset are denoted as L , $h(t) = \sum_{i=1}^L h_i(t) \delta(t - \tau_i)$, τ_i and ρ , respectively. Furthermore, $n(t) = n_I(t) + jn_Q(t)$ where

$n_i(t)$ and $jn_o(t)$ are $\mathbb{C}N(0, \sigma_N^2 / 2)$.

3. Spectrum sensing methods

3.1. Spectral correlation function

In this study, we utilize the second-order cyclostationary of signals by taking the non-linear transformation as [16]:

$$v_\tau(t) = \mathbb{E} \left\{ r(t + \tau / 2) r^*(t - \tau / 2) \right\}, \quad (3)$$

where $v_\tau(t)$ is the auto-correlation of $r(t)$ and due to the periodicity of the auto-correlation function the Fourier series coefficients can be shown as [21]

$$\mathfrak{R}_r^\alpha(\tau) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} u_\tau(t) e^{(-j2\pi\alpha t)} dt \quad (4)$$

$\mathfrak{R}_r^\alpha(\tau)$ denotes the cyclic auto-correlation function and α is the cyclic frequency. One should know that the frequency domain analysis of the $r(t)$ can provide some unique features. After some mathematical manipulations and the help of the cyclic Wiener relation [16], SCF of the $r(t)$ is given as

$$U_r^\alpha(f) = \int_{-T/2}^{T/2} \mathfrak{R}_r^\alpha(\tau) e^{(-j2\pi f \tau)} d\tau \quad (5)$$

Since SCF calculation is computationally cumbersome, we utilize the fast Fourier Transform (FFT) accumulation method (FAM) to reduce the complexity [17]:

$$U_{r_i}^{\alpha_i + q\Delta\alpha}(nL, f_j) = \sum_k R_T(kL, f_m) R_T^*(kL, f_l) j_c(n-k) e^{(-j2\pi kq)/P} \quad (6)$$

where $R_T(n, f)$ is complex-valued demodulates which is the N -point FFT of $r(n)$ passed through a Hamming window and can be computed as

$$R_T(n, f) = \sum_{k=-N/2}^{N/2} b(k) r(n-k) e^{-i2\pi f(n-k)T_s} \quad (7)$$

3.2. Energy Detection and Decision Statistics

Traditional energy detector captures $r(t)$ and calculates the associated energy of the $r(t)$ over a specified bandwidth and duration. The obtained energy detector output value is compared with a selected threshold after averaging out some parts of FFT to decide whether a signal is presented or not. One should note that the selection of the threshold value relies heavily on the noise floor value. Another important aspect in regards to

determining the threshold value is the type of signal detection. For instance, increasing the FFT size for narrow band signals will provide better detection performances. Additionally, longer duration results in higher SNR levels. the decision value for the energy detector output, Decision $e_d[n]$ can be given as

$$\text{Decision } e_d[n] = \sum_{i=0}^{N-1} |r[i]|^2 \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} \gamma \quad (8)$$

where N is the number of samples, γ stands for the selected threshold value to decide whether signal presents or not, $r[\cdot]$ stands for the discrete received signal. It is expected that (4) generates a non-central distribution when signal presents. However, in the presence of AWGN only channel, the distribution becomes a central distribution for H_0 . The degree of freedom equals to number of samples, N . Therefore, from the perspective of the central limit theorem (CLT), one should know that the decision statistics are asymptotically normally distributed with a fixed mean and variance when N is sufficiently large. Due to the random selection of the observation period and random nature of where the signal presents, one can apply PMF as a statistical test in order to obtain the values for the signal identification. Therefore, PMF statistics are used to support outputs instead of utilizing probability of detection and probability of false alarm statistics. PMF of the energy detector output statistics to obtain weighting factors, w , to determine signal presence can be calculated as

$$w = \frac{\text{Decision } e_d[n]}{\sum \text{Decision } e_d[n]} \quad (9)$$

3.3. Binary Hypothesis Test

Depending on the idle or busy state of the mobile propagation channel of RF spectrum with the presence of the transmitted signal, the signal detection by utilizing SCF and energy detector can be shown as a binary hypothesis test

$$r(t) = \begin{cases} h(t)\varphi(t) + n(t), & H_1 \\ n(t), & H_0 \end{cases} \quad (10)$$

H_0 and H_1 are the hypotheses respect to presence of noise only and the unknown signal, respectively. Therefore, the problem statement can be stated as identification of the presence of the unknown signal $\varphi(t)$ and $n(t)$.

4. Measurement setup and data processing

We develop a measurement setup in the Wireless Research Laboratory as seen in Figure 2(a) and illustration of the measurement setup is also shown in Figure 2(b).

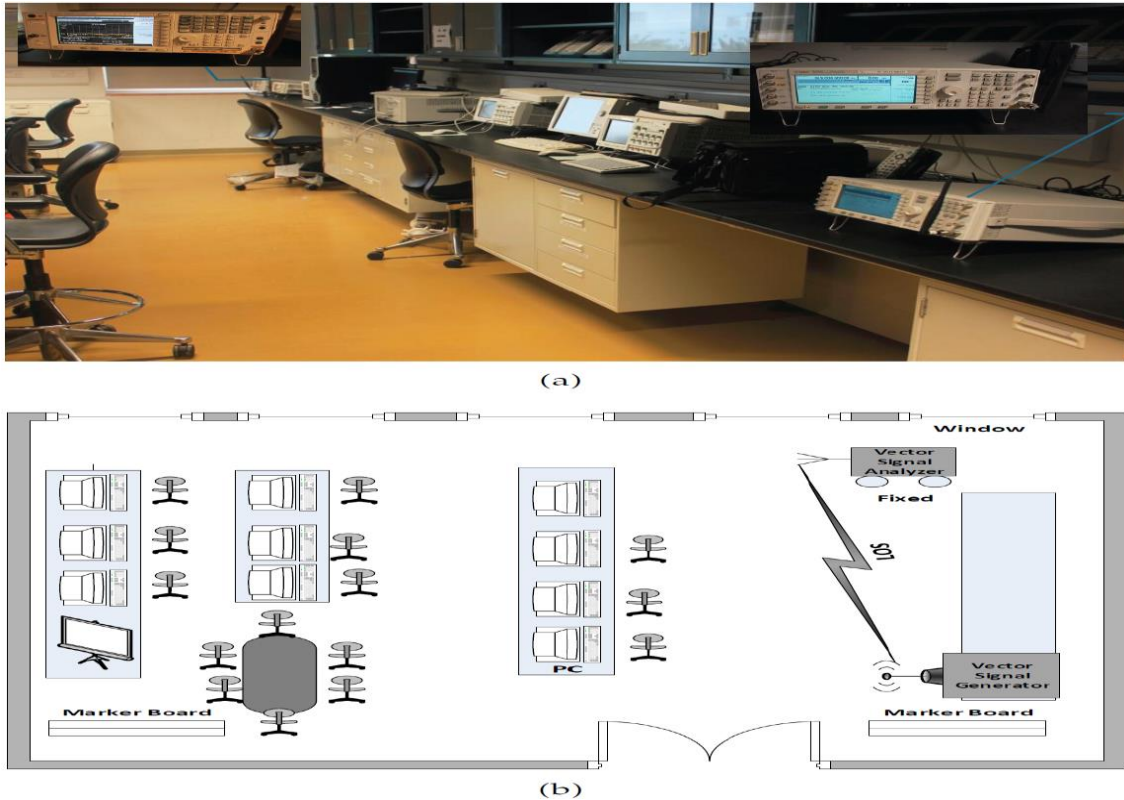


Figure 2. (a) Actual picture of the measurement setup, (b) Illustration of the measurement setup.

4.1. Measurement methodology and setup

Transmitted signal with digital BPSK modulation is generated and transmitted by using an Agilent vector signal generator (VSG) E4438C from a fixed location as shown in Figure 2. The parameters used for signal generation is shown in Table 1. Agilent PSA Series vector signal analyzer (VSA) E4440A is utilized to capture the transmitted signal. in-phase/quadrature (I/Q) samples captured by VSA E4440A transferred into laptop computer and all the analyses are done on MATLAB R2015b software runs.

Table 1. Parameters used to generate the transmitted signal.

Standard	Center Frequency	Symbol Rate	Bandwidth	Power	Alpha Factor
NADC	915Mhz	100kS/s	2Mhz	0dBm	0.35

The noise part of the signal and the actual signal can be seen in Figure 3.

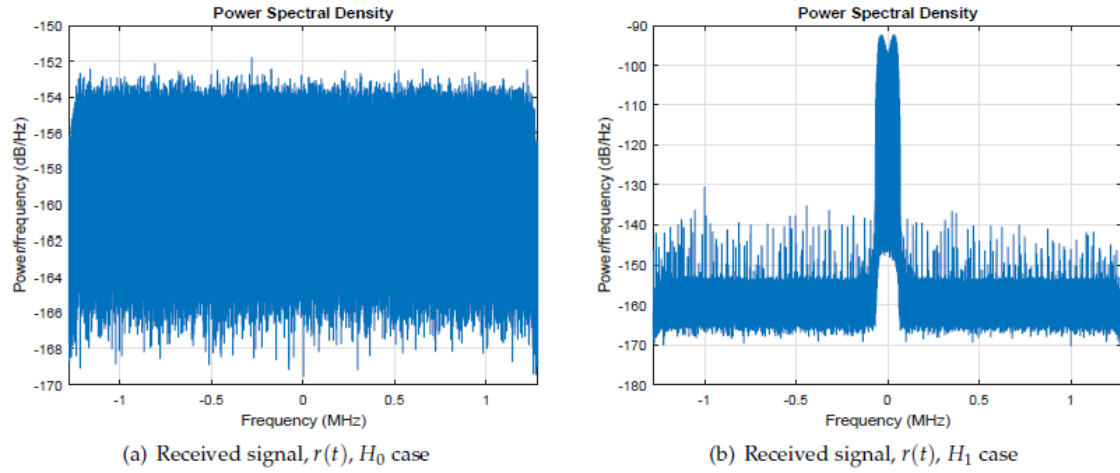


Figure 3. Power spectral density of H_0 and H_1 cases.

4.2. Data processing

For H_0 case, VSG is turned off. Then, we use VSA to capture the ambient thermal noise and we ensure that there is no unwanted signal present. Then, for H_1 case, by utilizing the parameters shown in TABLE I, BPSK signal is generated by VSG. VSA is set to capture the transmitted signal and in order to show the spectral difference between H_0 and H_1 case, the power spectral densities (PSDs) of the noise signal and the $r(t)$ are plotted by using a MATLAB script in Figure 3. Furthermore, MATLAB is used to obtain to provide the PMF statistics along with energy detector outputs for Equation 10.

Furthermore, MATLAB is used to obtain statistics of these I/Q samples by utilizing the SCF based and energy detector based sensing methods. Moreover, average dB/Hz values from signal statistics are calculated. An example scenario is shown for 200 samples of the captured data in Figure 4. Then, the average is calculated for every one thousand data points. If the average number is greater than the mean value, "1" is selected, if not, "0" is chosen. A total of 12.5 million binary random bits are generated with this process.

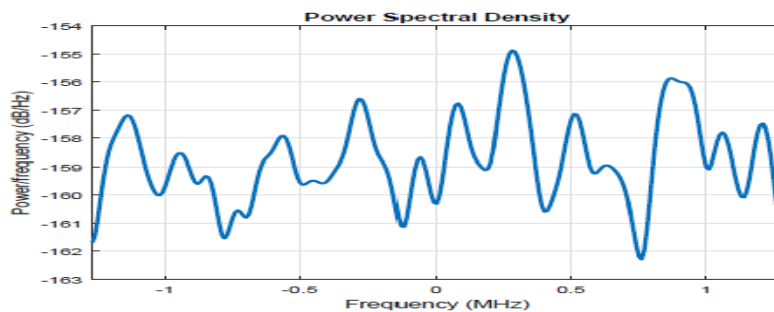


Figure 4. A sample observation of 200 samples of the captured received signal data.

5. Experimental results

Different levels of degrees of freedom is acquired by selecting different number of samples N for Equation 10. One should note that time duration for the captured signal is set to 5 seconds to have adequate amount of statistics in regards to PMF and energy detector statistics. As expected, with the help of CLT, increase in the number of samples resulted in better identification performance as shown in Figure 5. Here, we select number of samples as 20; 40; 60. This way, we can distinguish the noise part of the signal from the actual signal as seen in Figure 3 and utilize the noise part of the signal to generate the random numbers.

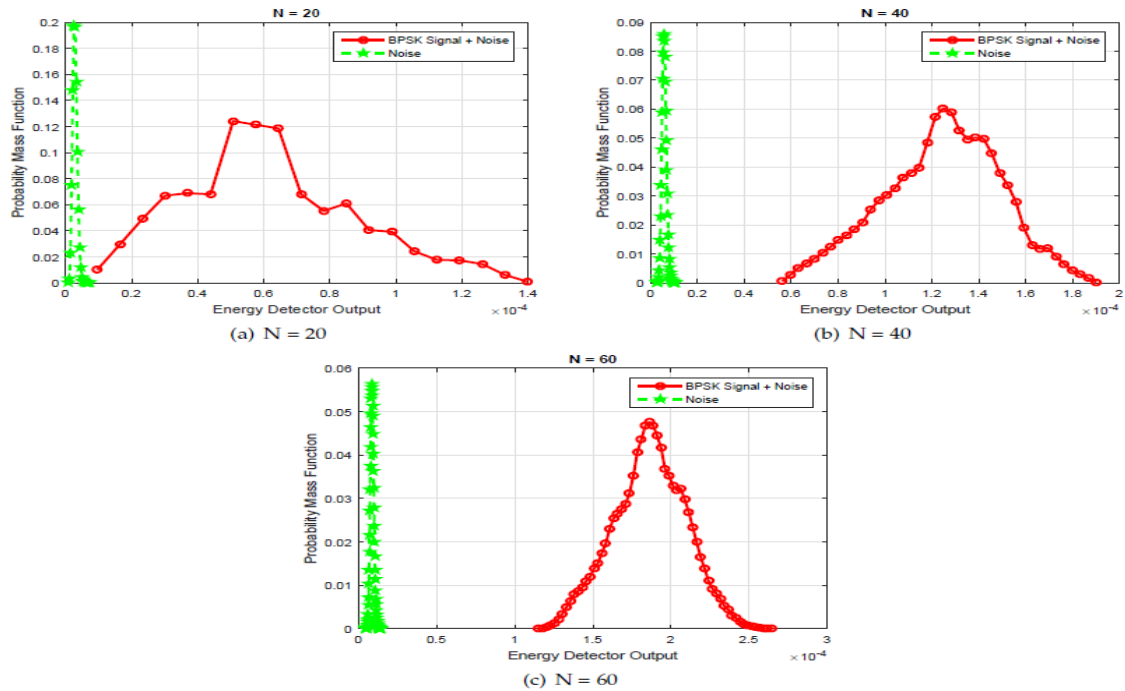


Figure 5. Energy detector output vs PMF output.

In addition to energy detector approach, the SCF of wireless communication signals which are estimated via FAM is depicted in Figure 6. It can be easily seen that SCF of Noise only case and BPSK modulated signal show unique characteristics, they can be employed as feature vectors for a classifier.

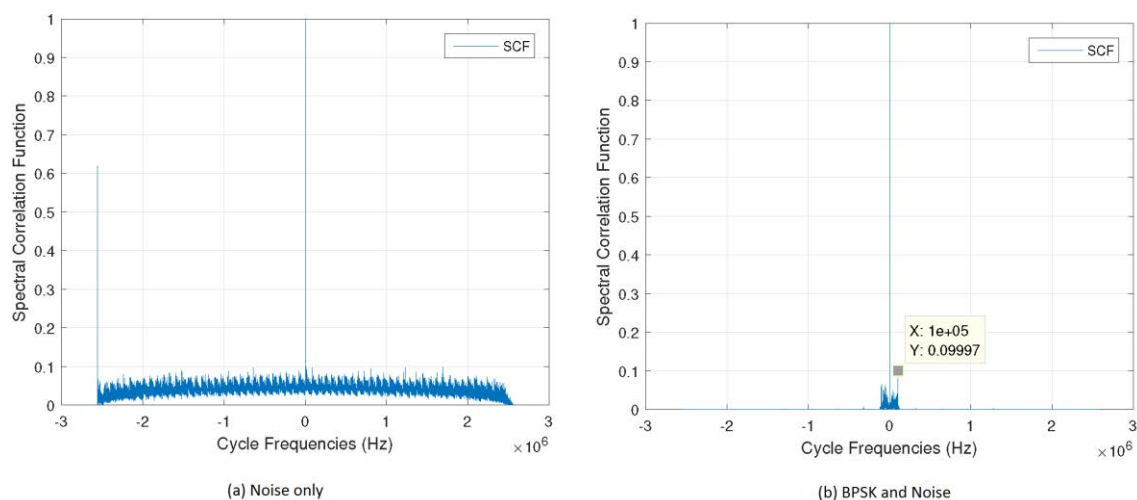


Figure 6. SCFs estimated for Noise only case and BPSK modulated signal.

The NIST test is applied to random numbers generated and the results are shown in Table 2. One can see that each processed bit stream is random. These results show that properly designed simple energy detector can be used to generate the highly random bit streams and can fulfill the requirements for designing effective RNGs. The minimum average pass rate for all the statistical tests is around 0,98769 for 25 binary sequences except for the random excursions (variant) test which is 0.9 for 10 binary sequences. This implies that that statistical tests provide significant results where the obtained pass rates are above the expected results for both 10-bit and 25-long.

Table 2. NIST-800-22 Test suite results.

NIST Statistical Test	p-value	proportion	result
Block Frequency	0.029796	25/25	PASS
Frequency	0.392456	25/25	PASS
Runs	0.242986	24/25	PASS
Cumulative Sums	0.186566	25/25	PASS
Rank	0.484646	24/25	PASS
Longest Run	0.311542	24/25	PASS
Non Overlapping Template	0.875539	25/25	PASS
FFT	0.392456	25/25	PASS
Overlapping Template	0.141256	25/25	PASS
Universal	0.392456	25/25	PASS
Random Excursions Variant	0.213309	9/10	PASS
Random Excursions	0.739918	10/10	PASS
Linear Complexity	0.311542	24/25	PASS
Serial	0.021262	25/25	PASS

6. Conclusions

We investigate the performance of SCF and energy detector detector spectrum sensing methods to generate random bits from the captured over the air BPSK modulated signal. In this study, SCF and energy detector based noise source detection by utilizing the random nature of the wireless RF spectrum and sensing the noise part of the signal are

investigated. It is shown that noise statistics obtained through the aforementioned sensing methods can generate the random bit streams and the results are fed into the NIST 800–22 statistical randomness test suite to show the performance of the proposed approach [19]. Obtained results satisfy the requirements for the NIST 800–22 statistical randomness test. In general, more than one signal is presented in the RF spectrum, therefore, in the future research; we will discuss the performance of the proposed algorithm when there is no priori information about the multiple signals on the RF spectrum.

References

- [1] Andrews, J.G., Seven ways that HetNets are a cellular paradigm shift, **IEEE Communications Magazine**, 51, 136–144, (2013).
- [2] Bennis, M., Simsek, M., Czulwik, A., Saad, W.; Valentin, S., Debbah, M., When cellular meets WiFi in wireless small cell networks, **IEEE Communications Magazine**, 51, 44–50, (2013).
- [3] Ericsson, M.R., **Realizing smart manufacturing through**, IOT, (2018).
- [4] Bagini, V., Bucci, M., A design of reliable true random number generator for cryptographic applications. International Workshop on Cryptographic Hardware and Embedded Systems. Springer, 204–218, (1999).
- [5] Schneier, B., **Applied cryptography: protocols, algorithms, and source code in C**; John Wiley & Sons, (2007).
- [6] Hong, S.L., Liu, C., Sensor-based random number generator seeding, **IEEE Access**, 3, 562–568, (2015).
- [7] Demir, K., Ergün, S., An analysis of deterministic chaos as an entropy source for random number generators, **Entropy**, 20, 957, (2018).
- [8] Lee, K., Lee, S.Y., Seo, C., Yim, K., TRNG (True Random Number Generator) method using visible spectrum for secure communication on 5G network, **IEEE Access**, 6, 12838–12847, (2018).
- [9] Dobre, O.A., Signal identification for emerging intelligent radios: Classical problems and new challenges, **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, 18, 11–18, (2015).
- [10] Cabric, D., Tkachenko, A., Brodersen, R., Experimental study of spectrum sensing based on energy detection and network cooperation. Proceedings of the first international workshop on Technology and policy for accessing spectrum. ACM, p. 12, (2006).
- [11] Yarkan, S., Halbawi, W., Qaraq, K.A., An experimental setup for performance evaluation of spectrum sensing via energy detector: indoor environment. Proceedings of the 4th International Conference on Cognitive Radio and Advanced Spectrum Management. ACM, p. 42, (2011).
- [12] Yarkan, S., A Generic Measurement Setup for Implementation and Performance Evaluation of Spectrum Sensing Techniques: Indoor Environments, **IEEE Trans. Instr. and Meas.**, 64, 606–614, (2015).
- [13] Yucek, T., Arslan, H., A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications, **Communications Surveys & Tutorials, IEEE**, 11, 116–130, (2009).
- [14] Pawelczak, P., Nolan, K., Doyle, L., Oh, S.W., Cabric, D., Cognitive radio: Ten years of experimentation and development, **IEEE Communications Magazine**, 49, 90–100, (2011).

- [15] Dillard, R.A., Detectability of Spread–Spectrum Signals, **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, AES – 15, 526 – 537, (1979).
- [16] Gardner, W.A., Exploitation of spectral redundancy in cyclostationary signals, **IEEE Signal Process. Mag.**, 8, 14–36, (1991).
- [17] Roberts, R.S., Brown, W.A., Loomis, H.H., Computationally efficient algorithms for cyclic spectral analysis, **IEEE Signal Process. Mag.**, 8, 38–49, (1991).
- [18] Karami, E., Dobre, O.A., Adnani, N., Identification of GSM and LTE signals using their second-order cyclostationary, **IEEE Intl. Instrum. and Meas. Tech. Conf. (I2MTC). IEEE**, 1108–1112, (2015).
- [19] Bassham, L.E., Rukhin, A.L., Soto, J., Nechvatal, J.R., Smid, M.E., Leigh, S.D., Levenson, M., Vangel, M., Heckert, N.A., Banks, D.L., A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications – **NIST. Technical Report**, (2010).
- [20] Proakis, J.G., **Digital Communications**; McGraw–Hill, New York, 2001.
- [21] Giannakis, G.B., Cyclostationary signal analysis, **Digital Signal Processing Handbook**, 17–1, (1998).

Alüminyum-karbon elyaf sandviç kompozit levhaların V-bükme işleminde bükme açılarının ve bükme yönlerinin geri esneme üzerindeki etkisi

Ali IŞIKTAŞ^{1,*}, Vedat TAŞKIN²

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Hayrabolu MYO. Makina Bölümü., Tekirdağ

²Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Edirne

Geliş Tarihi (Received Date): 12.09.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 01.12.2019

Öz

Bu çalışmada, alüminyum-karbon elyaf sandviç levhaların V bükme operasyonu neticesinde oluşan geri esneme davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Bükme yönünün geri esneme davranışı üzerine olan etkisini incelemek amacıyla farklı bükme yönlerindeki sandviç kompozit levhalar 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında şekillendirilmiştir. Farklı bükme yönlerinde şekillendirilen sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme değerlerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, T1 (saat yönünün tersinde) bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında açılmalar görülürken, T2 (saat yönünde) bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki ise dış taraftaki alüminyum sac levhalarda yırtılmalar oluşmuştur.

Anahtar kelimeler: Sandviç kompozit levha, v bükme, geri esneme, bükme yönü.

Effect of bending angles and bending directions on springback in V-bending of aluminum-carbon fiber sandwich composite plates

Abstract

In this study, the springback behavior that occurs as a result of V-bending operation of aluminum-carbon fiber sandwich plates is examined experimentally. In order to examine the effect on the springback behavior of the bending direction, sandwich composite plates in bending directions T1 and T2 were shaped at the bending angles of

* Ali IŞIKTAŞ, aisiktas@nku.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-1532-4465>

Vedat TAŞKIN, vedattaskin@trakya.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-3013-2317>

15°, 30°, 45°, 60°, 75° and 90°. It was found that the springback values that occurred in sandwich composite plates that were shaped in different bending directions were very close. In addition, while separations between aluminum and carbon fiber plates were found in tests performed at 75° and 90° of bending angles in T1 (anticlockwise) bending direction, the aluminum sheet metals on the outer part were partly cracks at 75° and 90° of bending angles in T2 (clockwise) bending direction.

Keywords: *Sandwich composite plate, v bending, springback, bending direction.*

1. Giriş

Sandviç kompozit yapılar, bileşenlerinin farklı özelliklerinden faydalanmak için sert ve yüksek dayanıma sahip kabuk olarak adlandırılan iki yüzey ile çevrelenmiş, ortasında hafif ve mukavemeti düşük bir çekirdek tabaka kullanılarak tasarlanan kompozit yapılardır [1]. Sandviç kompozit yapıların yüzey tabakalarında genellikle alüminyum, titanyum, çelik, ahşap veya beton kullanılmaktadır. Sandviç kompozit levhaların çekirdek tabakasında ise mantar, plastik, bal peteği formundaki alüminyum veya elyaf türevleri kullanılmaktadır [2].

Sandviç kompozit levhaların yüksek mukavemet ve düşük yoğunluk gibi özelliklerinin yanında korozyon direnci gibi çevresel etkilere karşı dayanımlarından dolayı kullanım alanları artmaya başlamıştır [3]. Metaller ile kıyaslandığında sandviç kompozit levhalar daha hafif ve yüksek yorulma mukavemetine sahip olması sebebiyle özellikle uçak sanayisi, uzay teknolojisi, denizcilik sektörü ve otomotiv sektörü gibi birçok alanda tercih edilmektedir [4-6].

Sandviç kompozit levhaların kullanım alanlarının artmasıyla, kullanıldığı yere göre şekillendirilme ihtiyacı da ortaya çıkmıştır. Sadece karbon elyaf kullanılan yapılar şekillendirildiğinde kırılma ve malzeme yüzeyinde yırtılmalar görülmektedir [7]. Karbon elyafın şekillendirilebilme kabiliyetinin düşük olması bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için karbon elyaf-metal hibrid kompozitler geliştirilmiştir [8]. Hibrit kompozitlerin dış yüzeyinde kullanılan metal saclar sandviç yapının şekillendirilebilme kabiliyetini arttırmaktadır.

Sandviç kompozit levhalar bükme kalıbında şekillendirildikten sonra kalıp açısından farklı bir açı değerinde çıkmaktadır [9-11]. Bükme işleminde malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığında, malzemenin elastik davranışı malzemenin esneyerek açılmasına neden olmaktadır. Malzemede oluşan bu olay geri esneme olarak adlandırılmaktadır [12,13].

Kompozit levhaların bükme işlemi sonrası geri esneme miktarı tabakalarda kullanılan elyaf özelliklerine ve katman sayısına göre değişmektedir [14-16]. Ayrıca, kompozit malzemelerde geri esneme miktarı zımba radyüsü, bükme hızı, zımbanın malzeme üzerinde bekleme süresi ve sıcaklık gibi proses değişkenlerine göre farklılık göstermektedir [17,18].

Yapılan deneysel çalışmada, metal sac malzemelerin şekillendirilmesinde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi olan geri esneme sorununun yüksek performans ve çevresel etkilere karşı dayanımlarından dolayı tercih sebebi olan sandviç kompozit

levhalara nasıl etki edeceği araştırılmıştır. Bu bağlamda literatürde problemin çözümüne yönelik teorik ve deneysel çalışmalar incelenmiştir [19,20]. Literatür taraması neticesinde, daha önce sandviç kompozit levhaların şekillendirilmesi sonrası oluşan geri esneme davranışı üzerine çalışmaların literatürde yer aldığı ancak sandviç kompozit levhalarda bükme yönünün geri esnemeye etkisinin henüz çalışılmamış olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışmada, karbon elyaf ve alüminyum sac levhalardan üretilen sandviç kompozit levhaların şekillendirilmesinde bükme yönünün geri esnemeye etkisi araştırılmıştır.

2. Deneysel çalışma

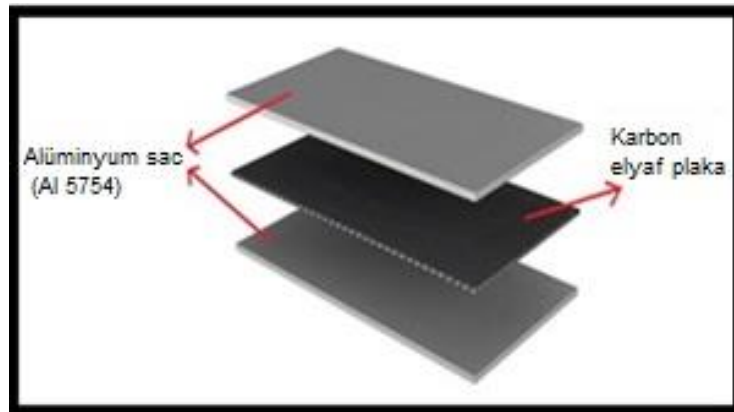
2.1. Materyal ve metot

Bükme deneylerinde, 30x60 mm boyutlarında sandviç kompozit levhalar kullanılmıştır. Sandviç kompozit levhanın alt ve üst tabakalarında farklı kalınlıklarda (0.6 ve 1.2 mm) Al-5754-H22 alüminyum sac levhalar bulunmaktadır. Al-5754-H22'nin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Al-5754-H22'nin mekanik özellikleri

Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde uzama (%)	Sertlik
68	245	15	65 HB

Sandviç kompozit levhaların orta tabakasında düz dokuma prepreg karbon elyaf kumaşlardan üretilen karbon elyaf plakalar bulunmaktadır. Elyaf malzeme olarak % 35-37 reçine içeren 93 gr/m² [0/90]s karbon elyaf kumaş kullanılmıştır. Alüminyum sac levha ve karbon elyaf plakanın yapıştırılması ile sandviç kompozit levha oluşturulmuştur. Sandviç kompozit levhayı oluşturan karbon elyaf plaka ve alüminyum sac levhanın birleştirilmesine ait şema Şekil 1'de gösterilmiştir. Al-5754-H22 sac ve karbon elyaf plakaların birleştirilmesinde Devcon marka Plastic Welder cinsi metakrilat bazlı yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırma işleminde kullanılan kalıp sayesinde tüm yüzeylerde eşit 0.3 mm yapıştırıcı kalınlığı elde edilmiştir [21].



Şekil 1. Sandviç kompozit levhaların oluşumu

Bükme yönleri farklı olan sandviç kompozit levhalar T1 ve T2 olarak isimlendirilmiştir. T1 bükme yönündeki numunelerin üst yüzeyinde 0.6 mm ve alt yüzeyinde 1.2 mm kalınlığında Al-5754-H22 bulunmaktadır. T2 bükme yönündeki numunelerin üst

yüzeyinde 1.2 mm ve alt yüzeyinde 0.6 mm kalınlığında Al-5754-H22 bulunmaktadır. Karbon elyaf kalınlığı ise T1 ve T2 de eşit 0.15 mm kullanılmıştır. Bükme yönünün geri esneme miktarına etkisini incelemek amacıyla T1 ve T2 bükme yönlerindeki sandviç kompozit levhalar 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında şekillendirilmiştir. Sandviç kompozit levha tabakalarının kalınlıkları ve yerleşim planı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Sandviç kompozit levha tabakalarının kalınlıkları ve yerleşim planı.

Sandviç kompozit levha	T1 (Saat yönünün tersinde)	T2 (Saat yönünde)
Üst yüzey	0.6 mm Al5754	1.2 mm Al5754
Orta yüzey	0.15 mm Karbon elyaf	0.15 mm Karbon elyaf
Alt yüzey	1.2 mm Al5754	0.6 mm Al5754

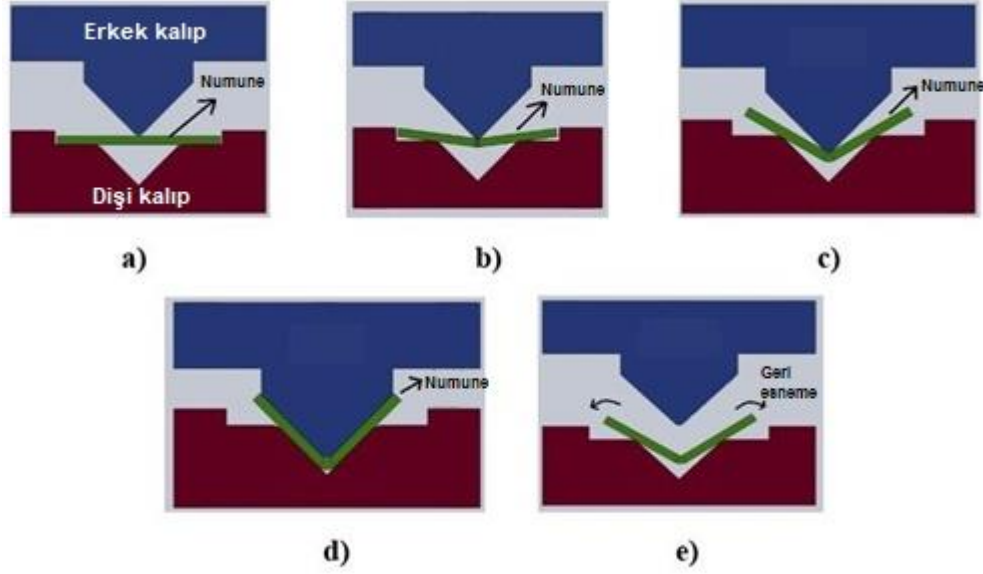
Bükme deneyleri, Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde bulunan TA.HDPlus marka tekstür analiz cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların yapıldığı bükme kalıbı ve deney düzeneğinin genel görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bükme deney düzeneğinin genel görüntüsü

V bükme deneylerinde, ilk olarak şekillendirilecek sandviç kompozit levha kalıba yerleştirmiştir. Kalıplar tasarlanırken sandviç kompozit levhaların konulacağı yer, numune boyutundan 1 mm geniş yapıldığı için numune kalıp boşluğuna düzgün bir şekilde yerleşmektedir. Bu sayede, yapılan her bükme testinde malzemenin konumu aynı olmaktadır. Tekstür cihazının bağlı olduğu bilgisayar yazılımına, sandviç kompozit levha kalınlığı dikkate alınarak basma yüksekliği değeri girilmiştir. Yazılıma girilmesi gereken basma yüksekliği, bükme hızı vb. tüm veriler girildikten sonra bükme testlerine başlanmıştır. Bükme işlemi, zımba ile dişi kalıp arasında malzeme kalınlığı kadar mesafe kalana kadar devam etmektedir. Bükme işlemi esnasında, zımba ile dişi kalıp arasında sandviç kompozit levha kalınlığı kadar boşluk bırakılarak numunenin ezilerek

deformasyona uğraması engellenmiştir. V bükme işleminin tamamlanmasıyla sandviç kompozit levhada geri esneme oluşmaktadır. Sandviç kompozit levhalarda bükme işlemi Şekil 3’de gösterilmiştir.



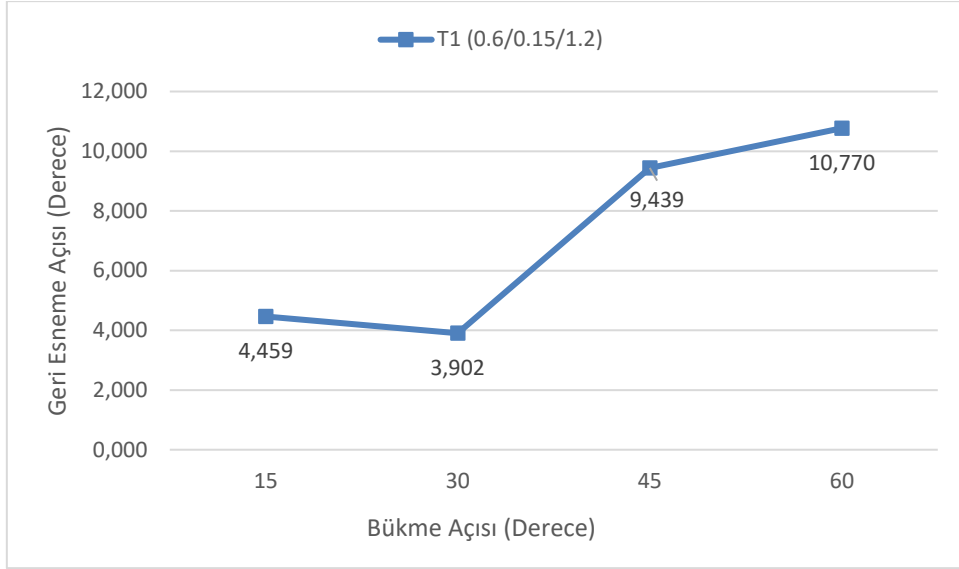
Şekil 3. Sandviç kompozit levhalarda bükme işlemi

Yapılan tüm deney serilerinde bükme hızı 5 mm/s ve zımba uç yarıçapı R8 mm olarak sabit seçilmiştir. Her deney aynı özellik ve ölçülere sahip 5 numune kullanılarak tekrarlanmıştır.

Bükme işlemi sonrası sandviç kompozit levha numunelerinin açıları Zeiss Pmc 500 koordinat ölçüm cihazı (CMM) kullanılarak hassas olarak ölçülmüştür. Ölçme işleminde, ölçme cihazının probu sandviç kompozit levhanın bir büküm yüzeyindeki dört farklı noktaya değdirilerek bir düzlem oluşturulmuştur. Aynı işlemi bu sefer numunenin diğer büküm yüzeyindeki dört farklı noktaya prob temas ettirilerek ikinci bir düzlem elde edilmiştir. Elde edilen bu iki düzlem arasındaki açı ölçülerek geri esneme açısı elde edilmiştir.

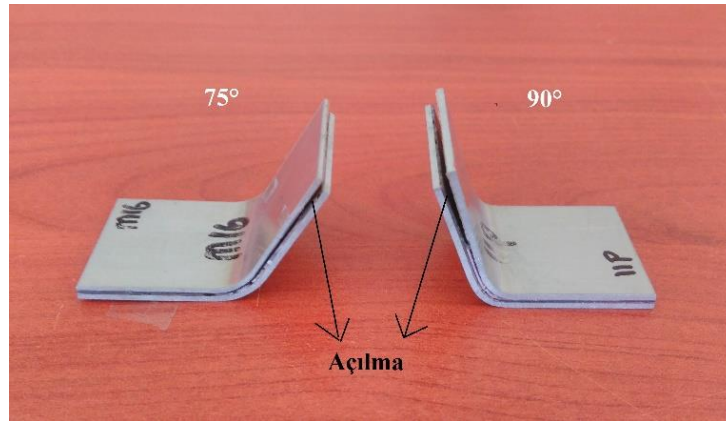
2.2. Sandviç kompozit levhaların şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları

Sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında şekillendirilmesi sonrası meydana gelen geri esneme miktarları grafikler üzerinde gösterilmiştir. T1 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları Şekil 4’de verilmiştir.



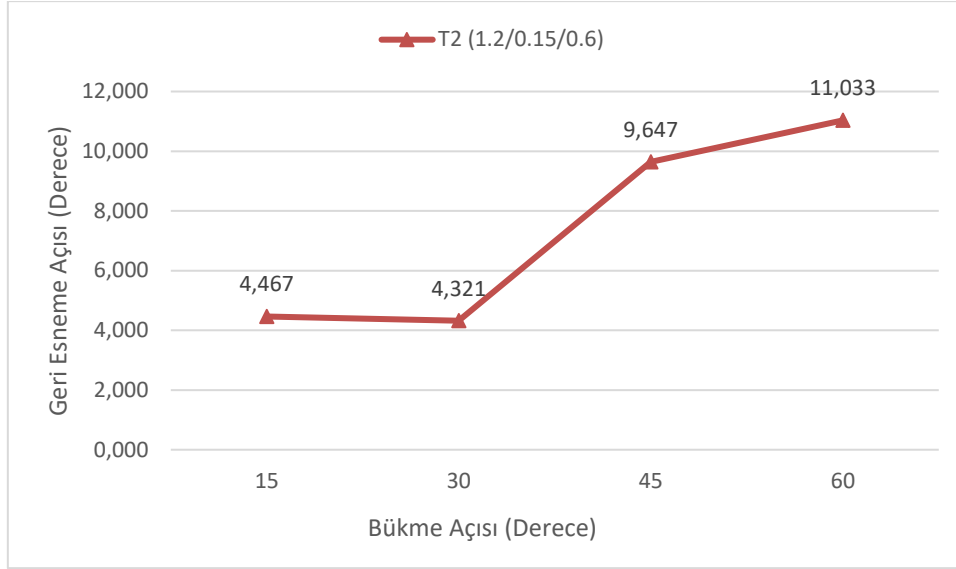
Şekil 4. T1 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları

T1 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında açılmalar görülmüştür. 75° ve 90° bükülen numunelerin sandviç yapısında açılmalar olduğu için geri esneme değerlendirmesine dahil edilmemiştir. Açılma sebebi olarak, bükme işlemi sırasında alüminyum ve karbon elyaf levhalar arasında oluşan gerilmelerin yapıştırma bağlantı dayanımından daha fazla olduğu söylenebilir. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan açılmalar Şekil 5’de gösterilmiştir.



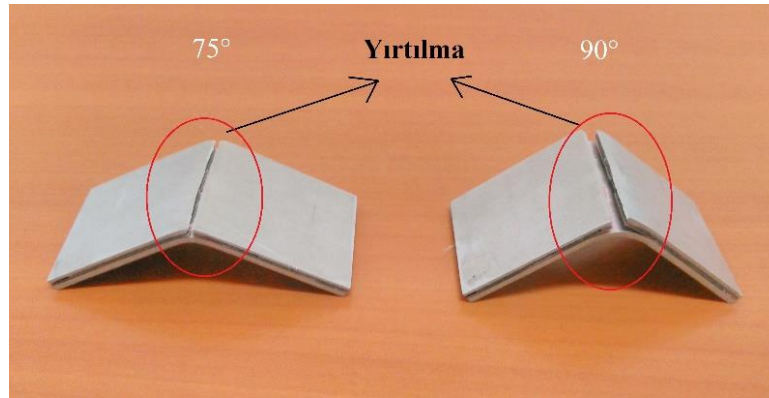
Şekil 5. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan açılmalar

T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları Şekil 6’da verilmiştir.



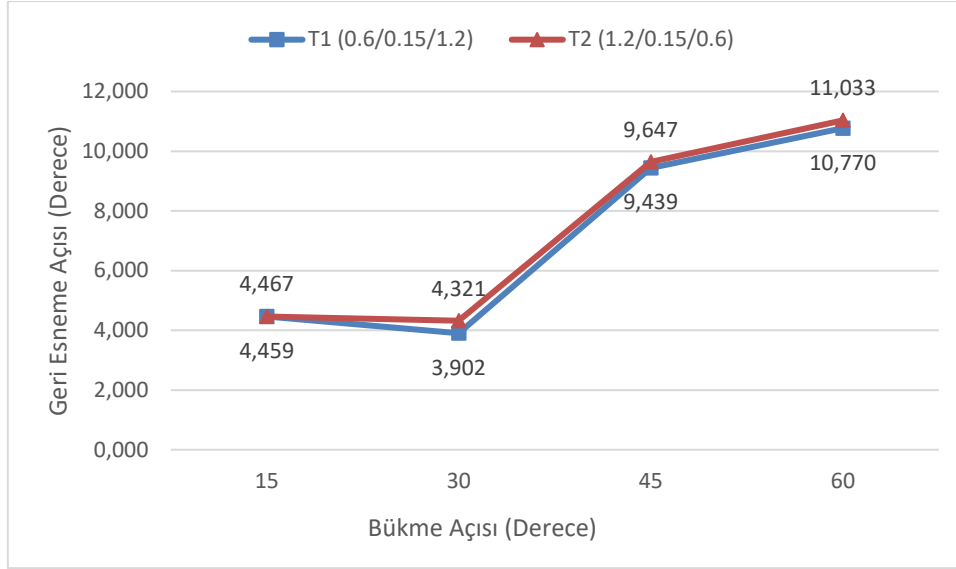
Şekil 6. T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları

T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde ise dış taraftaki alüminyum sac levhalarda yırtılmalar oluşmuştur. 75° ve 90° bükülen numunelerin sandviç yapısında yırtılmalar olduğu için geri esneme değerlendirmesine dahil edilmemiştir. Yırtılmanın sebebi olarak, 0.6 mm kalınlığındaki alüminyum sac malzemenin çekme dayanımının bükme işlemi esnasında kesitte oluşan çekme gerilme değerinden düşük olduğu söylenebilir. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan yırtılmalar Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan yırtılmalar

Sandviç kompozit levhalarda, bükme yönünün geri esneme miktarına etkisini incelemek amacıyla, T1 ve T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları Şekil 8’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 8. Farklı bükme yönlerinde şekillendirilen sandviç kompozit levhalarda geri esneme davranışının karşılaştırılması

Şekil 8 incelendiğinde, T1 ve T2 bükme yönündeki tüm sandviç kompozit levhalarda geri esneme meydana gelmiştir. T1 ve T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

3. Sonuçlar ve tartışma

Alüminyum-karbon elyaf sandviç kompozit levhaların V bükme kalıbı ile şekillendirilmesinde bükme yönü ve bükme açısının geri esneme davranışına etkisi incelenmiştir.

- Bükme açısı değiştikçe sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme değerleri değişmiştir.
- Sandviç kompozit levhaların farklı bükme yönlerinde (T1 ve T2) şekillendirilmesi neticesinde, her iki bükme yönünde şekillendirilen tüm sandviç kompozit levhalarda geri esneme meydana gelmiştir (Şekil 4, 6).
- T1 ve T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8).
- Bükme açısı arttırıldığında, sandviç kompozit levhalarda bükme yönüne bağlı olarak farklı hasarlar oluşmuştur.
- T1 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında açılmalar görülmüştür (Şekil 5).
- T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde ise alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında yırtılmalar oluşmuştur (Şekil 7).

Teşekkür

Bu çalışma Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: 2017/185.

Kaynaklar

- [1] Aghchai, A. J., Abolghasemi, A., Moradkhani, B. ve Tajik, M., Experimental, theoretical and numerical investigation of springback behavior of Al/composite/Al sandwich sheet, **Journal of Sandwich Structures & Materials**, 19(6), 659-678, (2016).
- [2] Davies, J. M., Lightweight sandwich construction, **Cib Working Commission**, (2008).
- [3] Keipour, S. ve Gerdooei, M., Springback behavior of fiber metal laminates in hat-shaped draw bending process: experimental and numerical evaluation, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 100(5-8), 1755-1765, (2019).
- [4] Mohammadi, S. V., Parsa, M. H. ve Aghchai, A. J., Simplified springback prediction in Al/PP/Al sandwich air bending, **Journal of Sandwich Structures & Materials**, 17(3), 217-237, (2015).
- [5] Rao, M. D., Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes, **Journal of Sound and Vibration**, 262(3), 457-474, (2003).
- [6] Uriya, Y. ve Yanagimoto, J., Suitable structure of thermosetting CFRP sheet for cold/warm forming, **International Journal of Material Forming**, 9(2), 243-252, (2016).
- [7] Uriya, Y., Ikeuch, K. ve Yanagimoto, J., Cold and warm V-bending test for carbon-fiber-reinforced plastic sheet, **Procedia Engineering**, 81, 1633-1638, (2014).
- [8] Huang, Z., Sugiyama, S. ve Yanagimoto, J., Hybrid joining process for carbon fiber reinforced thermosetting plastic and metallic thin sheets by chemical bonding and plastic deformation, **Journal of Materials Processing Technology**, 213(11), 1864-1874, (2013).
- [9] Kim, S. Y., Choi, W. J. ve Park, S. Y., Spring-back characteristics of fiber metal laminate (GLARE) in brake forming process, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 32(5-6), 445-451, (2007).
- [10] Parsa, M. H., Mohammadi, S. V. ve Aghchai, A. J., Al3105/polypropylene/Al3105 laminates springback in V-die bending, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 75(5-8), 849-860, (2014).
- [11] Han, P., Butterfield, J., Price, M., Murphy, A. ve Mullan, M., Part Form Prediction Methods for Carbon Fibre Reinforced Thermoplastic Composite Materials, **In Proceedings of the 18th International Conference on Composite Materials (ICCM-18)**. Jeju Island, Korea, (2011).
- [12] Jalali Aghchai, A., Abolghasemi, A., Moradkhani, B. ve Tajik, M., Experimental, theoretical and numerical investigation of springback behavior of Al/composite/Al sandwich sheet, **Journal of Sandwich Structures & Materials**, 19(6), 659-678, (2017).
- [13] Ján, S. ve Miroslav, J., Springback prediction in sheet metal forming processes, **Journal for Technology of Plasticity**, 37(1), (2012).
- [14] Choi, S. W., Lee, M. S. ve Kang, C. G., Effect of process parameters and laminating methods on spring-back in V-bending of CFRP/CR340 hybrid composites, **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, 17(3), 395-400, (2016).

- [15] Yanagimoto, J. ve Ikeuchi, K., Sheet forming process of carbon fiber reinforced plastics for lightweight parts, **CIRP annals**, 61(1), 247-250, (2012).
- [16] Mahzan, A. B. C., Malingam, S. D., Selamat, M. Z. B. ve Said, R. B., A study on the mechanical and forming performance of oil palm fiber reinforced polypropylene composite, **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, 141-148, (2014).
- [17] Hahn, M., Ben Khalifa, N., Weddeling, C. ve Shabaninejad, A., Springback Behavior of Carbon-Fiber-Reinforced Plastic Laminates With Metal Cover Layers in V-Die Bending, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, 138(12), (2016).
- [18] Engel, B. ve Brühmann, J., Spring-in characteristics of thermoplastic composites with glass fiber fabric reinforcement, **In Proceedings of the 19th International Conference on Composite Materials (ICCM-19)**, Montréal, Canada, (2013).
- [19] Han, P., Butterfield, J., Buchanan, S., McCool, R., Jiang, Z., Price, M. ve Murphy, A., The prediction of process-induced deformation in a thermoplastic composite in support of manufacturing simulation, **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, 227(10), 1417-1429, (2013).
- [20] Liu, L. ve Wang, J., Modeling springback of metal-polymer-metal laminates, **Journal of manufacturing Science and Engineering**, 126(3), 599-604, (2004).
- [21] Urkmez Taskin, N. ve Sahin, A., Effect of Aging Time at High Temperature on the Shear Strength of Adhesively Bonded Aluminum Composite Foam Joints, **The Journal of Adhesion**, 95(4), 308-324, (2019).

Modeling of Duhem hysteresis with Riemann-Liouville fractional derivative

Beyza Billur İSKENDER EROĞLU*

Balıkesir University Faculty of Science and Arts, Department of Mathematics, Cagis Campus, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 23.08.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 07.01.2020

Abstract

In the view of memory effect of hysteresis, this work aims to interpret hysteresis nonlinearities in terms of Riemann-Liouville fractional derivative which is a singular operator with memory and hereditary properties. For this purpose, Duhem hysteresis, a model defined by a first order differential equation, is considered and adapted to a fractional order differential equation. Since the fractional order Duhem hysteresis cannot be solved by an analytical scheme, Grünwald-Letnikov approximation is used to obtain numerical solutions. Thus, the effect of fractional order derivative to Duhem hysteresis is demonstrated with graphics obtained by this approximation and plotting using MATLAB. As a result, it is observed that the fractional order model exhibits hysteresis behavior for the orders that are smaller than 1.

Keywords: *Duhem hysteresis, Riemann-Liouville fractional derivative, fractional order differential equations, Grünwald-Letnikov approximation.*

Duhem histeresisin Riemann-Liouville kesirli türevi ile modellenmesi

Öz

Bu çalışma, histeresisin hafıza etkisini göz önüne alarak, doğrusal olmayan histeresis davranışının hafıza ve kalıtım özelliğine sahip tekil olmayan Riemann-Liouville kesirli türevi açısından yorumlamayı amaçlamaktadır. Bunun için, birinci mertebeden diferansiyel denklem ile tanımlanan bir model olan Duhem histeresis göz önüne alınmış ve kesirli mertebeden bir diferansiyel denkleme uyarlanmıştır. Kesirli mertebeden Duhem histeresis analitik bir yöntem ile çözülemeyeceğinden, nümerik çözümleri elde etmek için Grünwald-Letnikov yaklaşımı kullanılmıştır. Böylece, kesirli mertebeden

* Beyza Billur İSKENDER EROĞLU, biskender@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-3575-8404>

türevin modele etkisi bu yaklaşım göre elde edilen ve MATLAB kullanılarak çizdirilen grafikler ile gösterilmiştir. Sonuç olarak, kesirli mertebeden modelin 1 den küçük mertebeler için histerisis etkisi gösterdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Duhem histerisis, Riemann-Liouville kesirli türevi, kesirli mertebeden diferansiyel denklemler, Grünwald-Letnikov yaklaşımı.*

1. Introduction

Hysteresis phenomenon is an important task of science and technology because of its wide range of applications such as ferromagnetic hysteresis in physics, plastic hysteresis in mechanics, soil-moisture hysteresis in hydrology and etc. Hysteresis is a general name of the memory-based nonlinear relation between input and output signals. “Input” and “output” are the terms of system terminology, therefore their sense varies via the application areas. For instance, magnetic field is the input and magnetic induction or magnetization is the output of ferromagnetic hysteresis; force is the input and displacement is the output for mechanic hysteresis; and strain is the input and stress is the output of elastic hysteresis. These examples can be extended to other types of hysteresis.

Increasing importance of hysteresis bring about the necessity of its mathematical modeling and so substantial amount of book, review articles and papers have been published at this area, see [1-4]. In the mathematical studies, hysteresis nonlinearities are defined by operators between function spaces. Basic hysteresis operators relay, play and stop are defined for simple hysteresis nonlinearities and composition of these operators with some experimental functions, as Preisach or Prandtl-Ishlinskii models, gives hysteresis models for complex systems. Another commonly used model of hysteresis is developed with differential equation known as Duhem model [5]. However, the studies still continue to obtain the most accurate model which is necessary to explain the physical systems exactly. Recently, hysteresis nonlinearities are analyzed in fractional dynamics, see [6-16].

Fractional order modeling of hysteresis has been more often analyzed for piezoelectric materials in sense of Riemann-Liouville fractional derivative. Fractional derivatives have been used to model hysteresis of ferroelectric materials in [17] in which a fractional derivative term of polarization have been added to take into account the dynamical effects cannot be described by integer order derivative. The model leads to good matching between measured and simulation curves on a large frequency bandwidth. Zhu and Zhou [18] presented a linearized hysteresis force for piezoelectric actuated fast tool servomechanism modeled by a fractional order differential equation. Also, Zhu et al. [19] proposed a differential model of hysteresis which models nonlinear component of displacement for piezoelectric actuators. Finally, Ding et al. [20] characterized the hysteresis of piezoelectric actuators in time and frequency domain by a fractional order model and validated the effectiveness of the model by simulations and experiments. Caputo and Carcione [21] introduced to model the memory formalism in the constitutive equation of anelastic media represents hysteresis and fatigue phenomena by using Caputo fractional derivative. More recently, a new fractional order operator with nonsingular kernel known as Caputo Fabrizio derivative has been also used to model hysteresis nonlinearities in ferromagnetic materials in [22]. Moreover, not only

nonlocal operators but also local operators with fractional order are considered to model hysteresis behavior. Naser and Ikhouane [23] characterized the Duhem model of hysteresis with a local operator and identified the consistency class of the model with hysteresis behavior via the range of fractional order parameter λ . According to this classification, they concluded that the generalized Duhem model with $\lambda > 1$ and the generalized semilinear Duhem model with $0 < \lambda < 1$ are not in agreement with the hysteresis property. However, they theoretically showed that all other types are compatible with hysteresis behavior.

In this work, we analyze Duhem model of hysteresis nonlinearity with fractional calculus. We choose Duhem model, because it is a general form of elastic hysteresis, in which the fractional dynamics naturally arise, and suitable for ferromagnetic hysteresis [24,25]. To define a fractional order model of hysteresis, we reconstruct the model with fractional differential equation in sense of Riemann-Liouville derivative. The sketch of the paper can be briefed as follows. Section 1 is dedicated to preliminaries for fractional calculus. Integer order model of Duhem hysteresis is reminded in Section 3. Fractional order Duhem model is presented and solved numerically in Section 4 which also includes simulation results for different values of α . Finally, the concluding remarks are given in Section 5.

2. Preliminaries

Fractional calculus, concerns the generalization of derivative and integral concepts to non-integer order, is as old as classical calculus. However, intense interest by the scientific community to fractional calculus dates back to the last fifty years in which its wide range of application areas have been explored such as viscoelasticity, diffusion phenomena, signal processing, control design and so on. Since different non-integer order derivative and integral operators have been introduced to model different phenomena in science and engineering, fractional calculus is now recognized as an effective mathematical tool.

In this work, we use Riemann-Liouville fractional derivative (RLFD) to model hysteresis phenomena which can be defined for a time dependent function $x(\cdot)$ as

$${}_0D_t^\alpha x(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \left(\frac{d}{dt}\right)^n \int_0^t (t-\tau)^{n-\alpha-1} x(\tau) d\tau, \quad (1)$$

where α is order of derivative such that $n-1 \leq \alpha < n$, ($n \in \mathbb{N}^+$) and $\Gamma(\cdot)$ is Euler's gamma function, [26-28].

Also, we use the Grünwald-Letnikov (GL) definition of fractional derivative which can be interpreted as the discrete version of RLFD. For a time dependent function $x(\cdot)$ the GL derivative is defined as

$${}^{\text{GL}}D_t^\alpha x(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{\left\lfloor \frac{t}{h} \right\rfloor} (-1)^k \binom{\alpha}{k} x(t - kh), \quad (2)$$

where

$$\binom{\alpha}{k} = \frac{\Gamma(\alpha + 1)}{\Gamma(k + 1)\Gamma(\alpha - k + 1)}, \quad (3)$$

h represents the time increment and $\left\lfloor \frac{t}{h} \right\rfloor$ means the integer parts of $\frac{t}{h}$.

The finite approximation of the GL derivative will be used to discretize the RLFD in calculation steps (see [28]).

3. An integer order Duhem model for hysteresis

Duhem model of hysteresis is defined by an ordinary differential equation constructed by depending on the fact that the output changes its character when the input changes its direction. In this paper, we assume that the input represented by x and the output represented by y are real valued functions of time t and also both of them have piecewise continuous derivatives. Then, the Duhem model is given by

$$\frac{dy}{dx} = \rho [\zeta(x) - y] \left| \frac{dx}{dt} \right| + \eta(x) \frac{dx}{dt}. \quad (4)$$

where ρ is a positive constant, η and ζ are material functions. In detail, η corresponds to the mean slopes of hysteresis branches and ζ corresponds to the mean difference of the output on hysteresis branches. These functions must also satisfy the following conditions for good agreement with the experimental data, [29]:

- ζ is an odd, monotone increasing, piecewise smooth, real valued function with a derivative ζ' that has a finite limit $\zeta'(\infty)$ for large input.
- η is an even, piecewise continuous, real valued function with a limit, for large input, obeying $\zeta(\infty) = \eta(\infty)$.

Analytical solution of Eq.(4) under the initial conditions $y(t_0) = y_0$ and $x(t_0) = x_0$ can be easily obtained by dividing the both side of the equation with $\frac{dx}{dt}$ and using the chain rule. Thus, the solution of the acquired linear differential equation is

$$y(x) = \zeta(x) + [y_0 - \zeta(x_0)] e^{\rho \text{sign}\left(\frac{dx}{dt}\right)(x-x_0)} - e^{-\rho \text{sign}\left(\frac{dx}{dt}\right)x} \int_{x_0}^x [\zeta'(\tau) - \eta(\tau)] e^{\rho \text{sign}\left(\frac{dx}{dt}\right)\tau} d\tau. \quad (5)$$

The Duhem hysteresis is a generalized form of mechanics hysteresis backlash which is used for elastic models. Colemann and Hodgdon [24,25] showed that it is also useful to model ferromagnetic hysteresis by choosing the function ζ and η to match the experimental data.

4. Fractional order Duhem model for hysteresis

To obtain a fractional order model of hysteresis, we replace the integer order derivative of the input x and the output y in Eq.(4) with RLFD operator. We choose order of the RLFD as $0 < \alpha \leq 1$. Therefore; we get the following fractional order differential equation:

$${}_0D_t^\alpha y(t) = \rho [\zeta(x) - y] |{}_0D_t^\alpha x(t)| + \eta(x) {}_0D_t^\alpha x(t) \tag{6}$$

subjected to initial conditions

$$y(t_0) = y_0 \text{ and } x(t_0) = x_0.$$

Note that the functions ζ and η have the same properties given for integer order models in Section 3. Since the chain rule is not valid for RLFD, we prefer to solve the fractional Duhem model numerically. For this purpose, GL approximation of RLFD is used. The solution procedure can be summarized as below. Firstly, the time interval $[0, T]$ is divided into N equal parts with size of $h = \frac{1}{N}$ and the nodes are labeled as $0, 1, 2, \dots, N$. Secondly, the fractional derivative terms are approximated by GL approach. For a time dependent function of z , we can evaluate RLFD of order α with GL approach at node M as

$${}_0D_t^\alpha z(hM) = \frac{1}{h^\alpha} \sum_{j=0}^M w_j^{(\alpha)} z(hM - jh), \tag{7}$$

where $w_j^{(\alpha)} = (-1)^j \binom{\alpha}{j}$. The coefficients $w_j^{(\alpha)}$ can be computed by the following recurrence relationships

$$\begin{aligned} w_0^{(\alpha)} &= 1 \\ w_j^{(\alpha)} &= \left(1 - \frac{\alpha + 1}{j}\right) w_{j-1}^{(\alpha)}, \text{ for } j = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \tag{8}$$

Using Eq.(7), the numerical solution of Eq.(6) is obtained as

$$y(hM) = \frac{\rho \text{sign}({}_0D_t^\alpha x(hM)) \zeta(hM) + \eta(hM) - \frac{1}{h^\alpha} \sum_{j=1}^M w_j^{(\alpha)} y(hM - jh)}{\frac{1}{h^\alpha} w_0^{(\alpha)} + \rho |{}_0D_t^\alpha x(hM)|}. \quad (9)$$

For graphical representation, we consider zero initial conditions and two types of ζ and η functions, one is used for elastic hysteresis and the other is used for ferromagnetic hysteresis. Although the positive constant ρ is calculated from experimental data to match the hysteresis nonlinearity exactly, it can be observed that ρ is often equal to 1 in both the experimental and the theoretical studies [29, 30]. Therefore, we select $\rho = 1$ to focus the effect of fractional order on the hysteresis nonlinearity and we do not aim to explore different values of this parameter to keep confusion away. Also we choose step size $h = 0.01$ and all figures are plotted for sinusoidal input functions.

In Figure 1, we demonstrate the behavior of the fractional order model of hysteresis via variations of α values. For this aim, we choose $\zeta(x) = 0.03$ and $\eta(x) = 0.345$ to model elastic hysteresis, and the input function $x(t) = 4.5 \sin(2.3t)$. It can be seen from Figure 1 that decreasing values of α lead to a rectangular hysteresis nonlinearity. In terms of the applicability of fractional order hysteresis, it is important to emphasize that the fractional order model has smooth corners means it is differentiable.

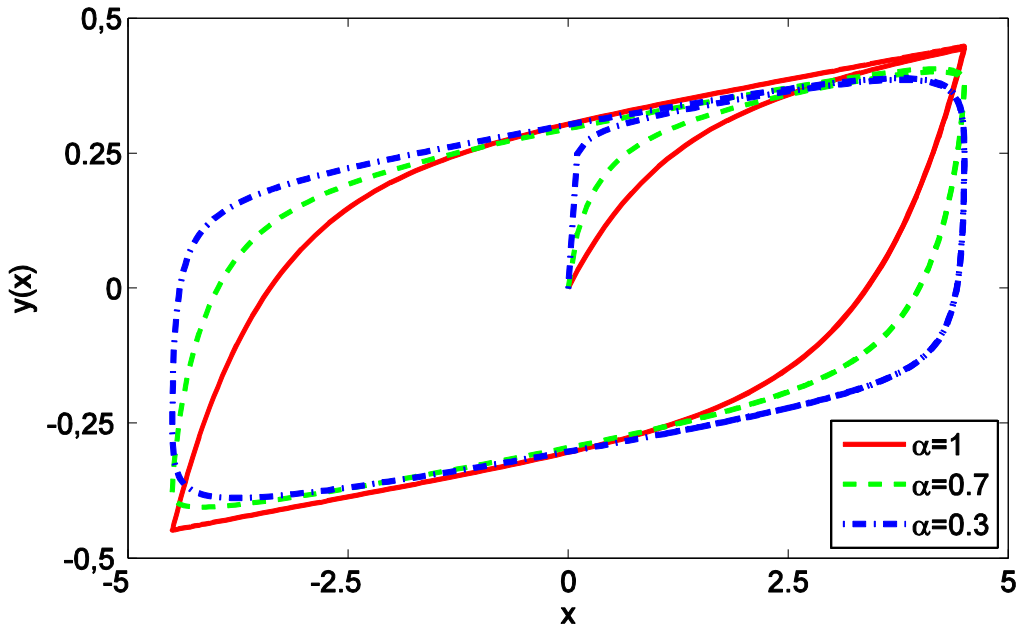


Figure 1. Fractional Duhem model of elastic hysteresis.

Similarly, we investigate fractional order model of ferromagnetic hysteresis with respect to α in Figure 2. Therefore, the ζ and η functions can be chosen as the following, (see [29]):

$$\zeta(x) = \begin{cases} a \tan(bx), & |x| < x^* \\ a \tan(bx^*) + (x - x^*)/s, & x > x^* \\ -a \tan(bx^*) + (x + x^*)/s, & x < -x^* \end{cases}$$

and

$$\eta(x) = \begin{cases} \zeta'(x) \left[1 - c \exp\left(\frac{-d|x|}{x^* - |x|}\right) \right], & |x| < x^* \\ \zeta'(x), & |x| > x^* \end{cases}$$

where $a=1.02$, $b=14.26$, $c=0.95$, $d=1.2$, and $s=0.002$, $x^*=0.09$. The input function $x(t)=0.09\sin(t)$ is applied for numerical computation. We conclude from Figure 2 exhibited for $\alpha=0.3, 0.6, 0.9$ that variations of α affect the shape of hysteresis. We conclude that decreasing values of α lead to narrow hysteresis.

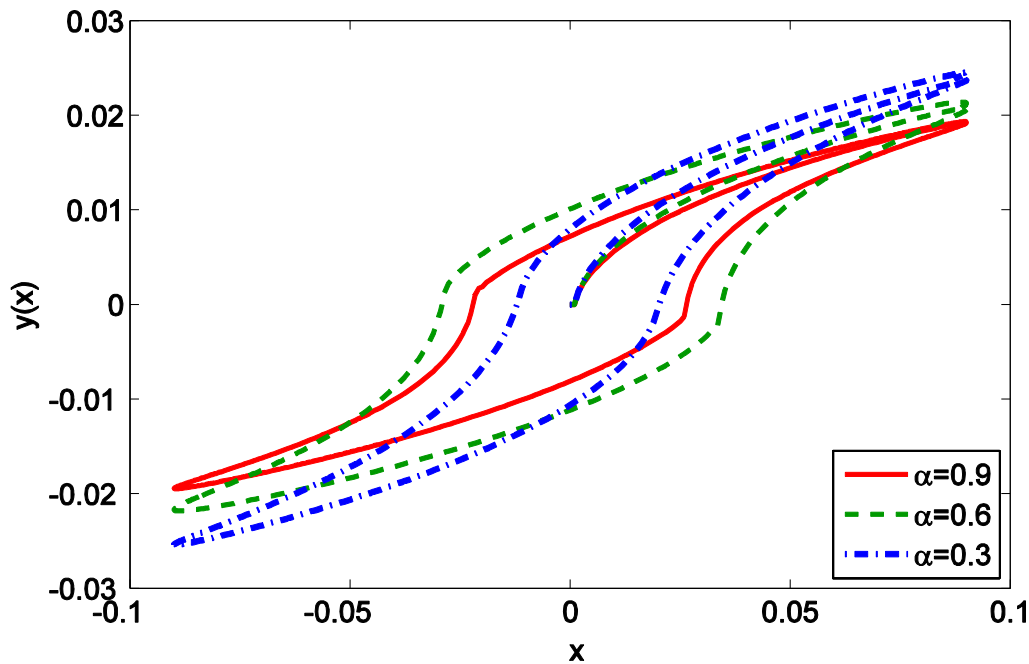


Figure2. Fractional Duhem model of ferromagnetic hysteresis.

5. Conclusions

We investigated the fractional order model of hysteresis nonlinearity in the sense of Riemann-Liouville fractional derivative. Therefore, the Duhem model of hysteresis was defined by a fractional differential equation. Although the integer model analytically could be solved by using the chain rule of the classical derivative, the same solution strategy could not be applied to the fractional model since the fractional derivative does not supply the chain rule. Thus, a numerical approximation which is Grünwald-Letnikov approach was used to solve fractional Duhem hysteresis. Fractional order

models were plotted for two kinds of hysteresis nonlinearities which are used to model elastic and magnetic hysteresis via sinusoidal inputs. It was concluded that the model still shows hysteresis behavior for different values of the order. Also, it was observed from the figures that the fractional derivative affected the shape of hysteresis for both elastic hysteresis and ferromagnetic hysteresis. Moreover, the fractional derivative led to smooth hysteresis nonlinearity for elastic hysteresis.

References

- [1] Krasnosel'skii, M.A., and Pokrovskii, A.V., **Systems with hysteresis**, Springer Verlag, (1989).
- [2] Mayergoyz, I.D., **Mathematical models of hysteresis**, Springer Verlag, Berlin, (1991).
- [3] Macki, J.W., Nistri, P., and Zecca, P., Mathematical models for hysteresis, **Siam Review**, 35, 1, 9-123, (1993).
- [4] Visintin, A., **Differential models of hysteresis**, Springer, Berlin. (1994).
- [5] Duhem, P., Die dauernden aenderungen und die thermodynamik, **Zeitschrift fur Physikalische Chemie**, 22, 543-589, (1897).
- [6] Bagley, R.L., and Torvik, P.J., On the fractional calculus model of viscoelastic behavior, **Journal of Rheology**, 30, 1, 133—155, (1986).
- [7] Padovan, J., and Sawicki, J. T., Diophantine type fractional derivative representation of structural hysteresis, **Computational Mechanics**, 19, 335-340, (1997).
- [8] Machado, J.A., Analysis and design of fractional order digital control systems, **Systems Analysis Modelling Simulation**, 27, 107-122, 1997.
- [9] Darwish, M.A., and El-Bary, A.A., Existence of fractional integral equation with hysteresis, **Applied Mathematics and Computation**, 176, 684-687, (2006).
- [10] Schafer, I., and Kruger, K., Modeling of coils using fractional derivatives, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 307, 91-98, (2006).
- [11] Duarte, F. and Machado, J.A., Fractional dynamics in the describing function analysis of nonlinear friction, Proceedings of the **2nd IFAC Workshop on Fractional Differentiation and Its Applications**, Porto, Portugal, 39, 11, 218-223, (2006).
- [12] Deng, W. and Lü, J., Generating multi-directional multi-scroll chaotic attractors via a Fractional Differential Hysteresis system, **Physics Letters A**, 369, 438-443, (2007).
- [13] Duarte, F. and Machado, J.A., Describing function of two masses with backlash, **Nonlinear Dynamics**, 56, 409-413, (2009).
- [14] Özdemir N. and İskender, B.B., Fractional order control of fractional diffusion systems subject to input hysteresis, **Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, ASME**, 5, 2, 021002 (6 pages), (2010).
- [15] İskender, B. B., Özdemir, N. and N., Karaoglan, A.D., **Parameter optimization of fractional order $PI^\lambda D^\mu$ controller using response surface methodology**, Discontinuity and Complexity in Nonlinear Physical Systems, Series: Nonlinear Systems and Complexity, Vol. 6, Machado, J. A. T, Baleanu, D., Luo, A.C.J. (Eds.), Chapter 5, ISBN 978-3-319-01411-1, (2014).
- [16] Spanos, P.D., Di Matteo, A. and Pirotta, A., Steady-state dynamic response of various hysteretic systems endowed with fractional derivative elements, **Nonlinear Dynamics** 98,4,3113-3124, (2019).

- [17] Guyomar, D., DuCharme, B. and Sebald, G., Dynamical hysteresis model of ferroelectric ceramics under electric field using fractional derivatives, **Journal of Physics D: Applied Physics**, 40, 6048-6054, (2007).
- [18] Zhu, Z. and Zhou, X., A novel fractional order model for dynamic hysteresis of piezoelectrically actuated fast tool servo, **Materials**, 5, 2465-2485. (2012).
- [19] Zhu, Z., To, S., Li, Y., Zhu, W-L. and Bian, L., External force estimation of a piezo-actuated compliant mechanism based on a fractional order hysteresis model, **Mechanical Systems and Signal Processing**, 110, 296-306, (2018).
- [20] Ding, C., Cao, J. and Chen, Y.Q., Fractional-order model and experimental verification for broadband hysteresis in piezoelectric actuators, **Nonlinear Dynamics**, 98,3143-3153, (2019).
- [21] Caputo, M., and Carcione, J.M., Hysteresis cycles and fatigue criteria using anelastic models based on fractional derivatives, **Rheologica Acta**, 50, 107-115, (2011).
- [22] Caputo, M. and Fabrizio, M., On the notion of fractional derivative and applications to the hysteresis phenomena, **Meccanica**, 52, 3043-3052, (2017).
- [23] Naser, M.F.M. and Ikhrouane, F., Consistency of the Duhem model with hysteresis, **Mathematical Problems in Engineering**, 2013, 586130, (16 pages), (2013).
- [24] Colemann, B.D., and Hodgdon, M.L., A constitutive relation for rate-independent hysteresis in ferromagnetically soft materials, **International Journal of Engineering Science**, 24, 897-919, (1986).
- [25] Colemann, B.D. and Hodgdon, M.L., On a class of constitutive relations for ferromagnetic hysteresis, **Archive for Rational Mechanics and Analysis**, 99, 375-396, (1987).
- [26] Oldham, K. B. and Spanier, J., **The fractional calculus**, Academic Press, New York, (1974).
- [27] Miller, K.S. and Ross B., **An introduction to the fractional calculus and fractional differential equations**, Wiley, New York. (1993).
- [28] Podlubny I., **Fractional differential equations**, Academic Press, San Diego, (1999).
- [29] Hodgdon, M.L., Applications of a theory of ferromagnetic hysteresis, **IEEE Transactions on Magnetics**, 24, 218-221, (1988).
- [30] Su, C.Y., Stepanenko, Y., Svoboda, J. and Leung, T.P., Robust and adaptive control of a class of nonlinear systems with unknown backlash-like hysteresis, **IEEE Transactions on Automatic Control**, 45, 2427-2432, (2000).

Multimodal ve unimodal taşımacılık için rota karşılaştırılması: Hatay-Tekirdağ vaka analizi

Ömer Faruk CANSIZ, Kevser ÜNSALAN*

İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Merkez kampüsü, Hatay

Geliş Tarihi (Received Date): 28.12.2018

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.12.2019

Öz

Çalışmada, konteyner yük taşımacılığı için güzergâh karşılaştırılması yapılmaktadır. Unimodal ve multimodal taşımacılık modu incelemesinin yanı sıra farklı güzergâh seçim kriterleri de ele alınmaktadır. Bu kriterler yakıt tüketimi, maliyet, taşıma süresi ve karbondioksit salınımı olmak üzere dört kategoride değerlendirilmektedir. Dört değerlendirme kriteri dikkate alınarak parasal ve parasal olmayan giderlerin toplamı olan genelleştirilmiş maliyet değerleri hesaplanmaktadır. Rotaları değerlendirmek için yükün Hatay'dan Trakya bölgesindeki Tekirdağ'a taşındığı kabul edilmektedir. Bu iki nokta arasında karayolu, demiryolu ve denizyolu olmak üzere üç unimodal ve bu taşımacılık türlerinin kombinasyonlarından oluşan dört farklı multimodal taşımacılık rotası oluşturulmaktadır. Geliştirilen rotaların genelleştirilmiş maliyetleri incelendiğinde %94,35- %72,43 performans aralığı ile optimum güzergâh demiryolu çıkmaktadır. En verimsiz güzergâh ise %59,27-33,01 performans aralığı ile karayolu rotasıdır. Multimodal taşımacılık rotalarında tür değişim noktalarında yaşanan mali ve zamansal kayıplardan dolayı verimlilik düşmektedir.

Anahtar kelimeler: Multimodal taşımacılık, unimodal taşımacılık, rota karşılaştırılması.

Comparison of routes for multimodal and unimodal transport: Hatay-Tekirdag case analysis

Abstract

In the study, comparison of route is studied for container freight transportation. In addition to unimodal and multimodal mode, different route selection criteria are

Ömer Faruk CANSIZ, ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-6857-2513>

* Kevser ÜNSALAN, kevser.keskin@iste.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-9163-4855>

discussed. These criteria are evaluated in four categories: fuel consumption, cost, transportation time and carbon dioxide emission. The generalized cost values, which are the sum of monetary and non-monetary expenses, are calculated by taking into consideration the four evaluation criteria. In order to evaluate the routes, it is considered that the freight was moved from Hatay to Tekirdag in the Thrace region. Between these two points, four different multimodal transportation routes are formed using three unimodal road, rail and sea transport and a combination of these transportation modes. When the generalized cost of the developed routes are examined, the optimum route is the railway route with the performance range of 94,35% to 72,43%. The most inefficient route is road transport with a range of 59,27% to 33,01% generalized cost. In multimodal transport routes, efficiency is reduced due to the financial and temporal losses experienced in transportation mode change points.

Keywords: *Multimodal transport, unimodal transport, comparison of route.*

1. Giriş

Yük taşımacılığında optimizasyon uzun süredir araştırılan konulardan biridir. Unimodal ve multimodal rotaların optimizasyonu ise az çalışılan konulardandır. Geleneksel ve sezgisel algoritmalar ile bu konuda çeşitli optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır [1]. Geleneksel ve sezgisel algoritmaların oluşturulması için öncelikle unimodal ve multimodal taşımacılıkla ilgili parametrelerin iyi belirlenmesi gerekmektedir [2]. Özellikle multimodal taşımacılığa ait özelliklerin coğrafi şartların getirdiği zorunluluklar dikkate alınarak gerçekçi bir şekilde algoritmalara yerleştirilmesi doğru çözüme ulaşılması için kaçınılmazdır [3,4,5].

Cansız ve Polat, Hatay'daki mevcut ulaşım altyapısını incelemiş ve verimliliği arttırmak için önerilerde bulunmuşlardır [6]. Taşımacılıkta verimliliği artırabilmek için başka bir çalışmada, karayolu trafik yoğunluğunun fazla olduğu Marmara Bölgesindeki karayolu taşımacılığının kombine taşımacılığa aktarılması ile mevcut karayolu taşımacılığı yoğunluğunun azaltılmasına katkı sağlanacağı öne sürülmektedir [7]. Öztürk, Türkiye Cumhuriyetlerle yaptığı ihracata yönelik taşımacılıkta maliyet analizi yaparak kombine taşımacılığa yönelik olumlu bulgular elde etmektedir [8]. Diğer bir çalışmada, kombine taşımacılıkta mevcut alt yapı analizi yapılarak, liman seçiminde gerekli özellikler vurgulanmaktadır. Analizler sonucu kombine taşımacılıkta ülkemizde deniz ve demiryolu uyumu araştırılmakta ve olumsuz veriler elde edilmektedir. Bu hususta kombine taşımacılığın olumlu ve olumsuz yanları belirlenmektedir [9]. Steadieseifi vd. çalışmalarında multimodal taşımacılığın lojistik platformda güvenilir, verimli ve sürdürülebilirlik açısından birçok avantajı beraberinde getirdiğini vurgulamaktadır. Ayrıca multimodal taşımacılığın alt kollarından oluşan yük taşımacılığı terminolojisi için birçok kavram için araştırma yapmaktadır Çalışmasında multimodal taşımacılık üzerine yapılan çalışmaları stratejik, taktiksel ve operasyonel olmak üzere üç grupta değerlendirmektedir [10].

Vural vd. yer seçimi rotalama problemi ile demiryolu ve karayolu kombinasyonundan oluşan multimodal taşımacılık senaryosu geliştirerek mevcut durum karşılaştırması yapmaktadır [11]. Atar vd. çalışmalarında kısa mesafe deniz taşımacılığı ile birlikte kombine taşımacılığın önemini çeşitli parametrelere bağlı olarak vurgulamaktadır. Dinamik olarak değişen ekonomik koşullar, yük taşımacılığındaki artan talebi

etkilemektedir. Kaçınılmaz olarak, ağır ve büyük boy yük taşımacılığına olan talep artmaktadır [12]. Petraska vd. ağır ve büyük boyutlu yüklerin taşınmasında farklı kriterler üzerinden multimodal taşımacılığı araştırmaktadır [13]. Woo vd. otomotiv sanayisi ile küresel ticarete açılan Kore için lojistik maliyetlerini düşürecek yeni yöntemler aramış ve Kore-Amerika arasında dört farklı multimodal ulaşım ağı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu ulaşım ağlarının yıllık maliyet olarak karşılaştırmasını yapmışlardır. Kanada'nın doğu bölgelerinin petrol ihtiyacı sadece denizyolu ağları ile yapılmaktadır. Denizyoluna bu denli bağımlılık, denizyollarında yoğun trafiğe ve çok fazla petrol sızıntılarına yol açmaktadır [14]. Basu ve Verma, bölgenin coğrafi şartlarını değerlendirerek denizyolu ve demiryolu kombinasyonlu petrol taşıma güzergâhları araştırılmakta ve bunun için Kanada'da bir vaka analizi çalışması yapılmaktadır [15]. Hanssen vd. Norveç'te taze balık nakliyesinde, uzun mesafe taşımacılıkta karayolu taşımacılığının bulunmadığı intermodal taşımacılığın yapılabilmesi için gerekli mesafe optimizasyonu üzerine öneriler sunmaktadır. İntermodal taşımacılık ile birlikte karayolu taşımacılığında kaynaklı sürücü giderleri, dinlenme masraflarının bertaraf edildiği görülmektedir. Çalışma sonucunda intermodal taşımacılık yapılması durumunda ve aksi durumda fayda-zarar ilişkisi analiz edilmektedir. Genel tablo incelendiğinde Norveç'ten Avrupa kıtasına taze balık nakliyesi için intermodal taşımacılığın yapılması için gerekli mesafenin yeterli olduğu ve karayolu taşımacılığında ziyade intermodal taşımacılığın yapılmasının daha uygun olduğu kararına varılmaktadır [16]. Janic karayolu ve intermodal taşımacılık maliyet karşılaştırması için model geliştirmiştir. Geliştirilen modelde yük miktarı arttıkça intermodal taşımacılıkta maliyetlerin azaldığı gözlemlenirken, karayolu maliyetlerinin sabit kaldığı görülmektedir [17].

Du vd. gemicilerin rota seçim kararları, yük kapasitesi, navlun taşıma sistemini, denizyolu üzerindeki su seviyesi değişiminin etkilerini araştırmış ve multimodal taşımacılık ağının nasıl kullanılacağına ve gerçekleştirileceğine dair bilgiler sağlamışlardır. Genel amaçları devam etmekte olan iklim değişikliği etkileri karşısında etkin bir yük taşımacılığı ağını sürdürmek için altyapı yatırım kararları ve iş durumlarının geliştirilmesi için rehberlik sağlamaktır [18]. Fremont ve Franc Fransa'da karayolunun demiryoluna kayma potansiyelini değerlendirmişlerdir ve intermodal taşımacılığın limandan en az 200 kilometre uzaklıkta gidiş geliş seyahatleri için efektif çıktığını belirtmişlerdir [19]. Arnold vd. İspanya'daki minimum intermodal taşımacılık mesafesini değerlendirmek için bir model geliştirmişlerdir. 500 kilometrenin altındaki mesafelerde intermodal taşımacılığın maliyet açısından uygun çıkmadığı sonucuna varmışlardır [20].

Bu çalışmada yurtiçi taşımacılıklarda yaygın kullanım alanı olan unimodal taşımacılık yerine kıtalar arası taşımacılıkta yaygın olan multimodal taşımacılığın tercih edilmesindeki kıstaslar vurgulanmaya çalışılmaktadır. Unimodal taşımacılıkta ulaşım coğrafyasından kaynaklı kısıtlar, multimodal taşımacılık ile beraber aşılmaya çalışılmaktadır. Böylelikle unimodal taşımacılık anlayışının yerine multimodal taşımacılık anlayışı benimsenmeye çalışılmaktadır. Taşımacılık modlarının karşılaştırılabilmesi için filtre malzemesi üretiminin yaygın olduğu Hatay ilinden Trakya bölgesinde yer alan Tekirdağ illeri seçilerek unimodal ve multimodal taşımacılık rotaları oluşturulmaktadır. Rotalar firmaların tercih sebepleri ve literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında maliyet ve zaman kıstası dikkate alınmaktadır. Son dönemlerde sürdürülebilir çevre anlayışının gelişmesi ve hükümetlerin de bu konu üzerine yeni vergi sistemlerini uygulaması üzerine yakıt tüketimi ve taşıma araçlarından salınan CO₂

miktarları da incelenmektedir. Her bir kıstas ayrı ayrı göz önünde bulundurulurken, hepsinin birden değerlendirilmesi için genelleştirilmiş maliyet hesaplanmakta ve rotalar dört kritere göre eş zamanlı değerlendirilmektedir.

2. Materyal metod

2.1. Yakıt tüketimi hesabı

Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Araç yakıtı olarak kullanılan petrolün yan ürünleri yenilenemez enerji kaynakları içerisine girmektedir. Türkiye’de petrol ürünlerinin ulaştırma içerisinde kullanımı 2.807.997 TEP ve tüm sektörlere oranı % 11,19 dur [21]. Ulaştırmadaki enerji tüketiminin önemli bir paya sahip olması nedeniyle, güzergâhların performansını değerlendirmede yakıt tüketimi, önemli bir kıstas olarak ele alınmaktadır.

Karayolu yakıt tüketimi

Karayolu taşımacılığında taşıtın yüklü gittiği ve geri dönüşte taşıtın başka yükler taşıdığı kabul edilmektedir. Bu nedenle taşıtın geri dönüşte tükettiği yakıt miktarı hesaplara dâhil edilmemektedir. Taşıtın yük taşıma kapasitesine bağlı olarak yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Araç 26 ton tam kapasite ile dolu iken 40 litre yüksüz iken ise 30 litre yakıt tüketmektedir[22]. Karayolu yakıt tüketimi Denklem 1 dikkate alınarak bulunmaktadır.

$$YT_{karayolu} = ((YM)/(MY) \times (YT_{max} - YT_{min}) + YT_{min}) \times (M/100) \quad (1)$$

Denklem 1’de $YT_{karayolu}$, karayolundaki yakıt tüketimini, YM; mevcut yük miktarı, MY; konteynerde taşınabilecek maksimum yük, M; karayolu mesafesi, YT_{max} 100 km’de maksimum yükün taşınmasında tüketilen yakıt miktarını, YT_{min} taşıt boş iken 100 km’de tüketilen yakıt miktarını göstermektedir.

Demiryolu yakıt tüketimi

Demiryolu taşımacılığı için bir lokomotifte 80 adet vagon taşınmakta ve her vagona bir adet standart konteyner taşınmaktadır. Bir lokomotifin 100 km’de 85-100 litre aralığında dizel yakıt tükettiği kabul edilerek analizlerde en elverişsiz koşullarda hesap yapmak için yakıt tüketimi 100 litre alınarak hesap yapılmaktadır [23]. Demiryolu yakıt tüketimi, Denklem 2’ye göre hesaplanmaktadır.

$$YT_{demiryolu} = ((M/100) \times OYT) / KS \quad (2)$$

Denklem 2’de demiryolu taşımacılığında yakıt tüketim hesabının denklemleri verilmektedir. $YT_{demiryolu}$, demiryolunda ulaşımında tüketilen konteyner başına düşen yakıt tüketimini vermektedir. M; demiryolu mesafesi, OYT; bir lokomotifin 100 km’de ortalama yakıt tüketimi; KS ise lokomotifte taşınan konteyner sayısıdır.

Denizyolu yakıt tüketimi

Denizyolu taşımacılığında yakıt tüketimi, limanda ve seyirde ana ve yardımcı makinelerin yakıt tüketimi esas alınarak hesaplanmaktadır. Seyirde ana makine günlük 500 ton fuel oil, yardımcı makine günlük 30 ton dizel yakıt yakmaktadır. Limanda ise yardımcı makine günlük 45 ton dizel yakıt tüketmektedir [22]. Sürat, konteyner gemileri için 2010 yılı ortalama bir değer olan 25 knots alınmaktadır [24]. Limanda yükün

yükleme boşaltma süresi 3 gün alınmaktadır [22]. En büyük yük gemilerinin konteyner kapasitesi maksimum 18000 adet konteynerdir [25]. Bu çalışmada yük gemisinde 10000 adet konteyner taşındığı kabul edilmektedir. Denizyolu yakıt tüketimi, Denklem 3'e göre hesaplanmaktadır.

$$YT_{denizyolu}=(SAM_{GYT}\times SS+SYM_{GYT}\times SS+LYM_{GYT}\times LBS)/KS \quad (3)$$

Denizyolu ulaşımında yakıt tüketimi Denklem 3'e göre hesaplanmaktadır. $YT_{denizyolu}$, denizyolu taşımacılığında konteyner başına düşen yakıt tüketimini göstermektedir. SAM_{GYT} , seyirde ana makine günlük yakıt tüketimini, SYM_{GYT} , seyirde yardımcı makine günlük yakıt tüketimini göstermektedir. SS ise geminin seyir süresini temsil etmektedir. LYM_{GYT} , limanda yardımcı makine günlük yakıt tüketimini; LBS , limanda bekleme süresini göstermektedir. KS değeri geminin mevcut taşıdığı konteyner adedini göstermektedir. Tüm makinelerin yaktığı yakıt miktarı taşınan konteyner sayısına bölünerek konteyner başına düşen birim yakıt tüketimi hesaplanmaktadır.

2.2. Maliyet hesabı

Lojistikte en önemli rekabet maliyetlerin düşürülmesi ile sağlanabilmektedir. Genellikle taşımacılıkta optimum güzergâhın seçiminde ilk dikkat edilen unsurun maliyet olduğu göze çarpmaktadır [2].

Karayolu maliyet hesabı

Karayolu maliyet hesabı yapılırken yakıt tüketimi, sürücü ve dolaylı giderler hesaba katılarak maliyet analizi yapılmaktadır. Dizel yakıtın litre fiyatı 2018 yılı akaryakıt firmalarından alınan bilgilere göre 5,1 TL alınarak hesap yapılmaktadır. Sürücü ve diğer giderler 5 TL/ton kabul edilerek hesap yapılmaktadır. Denklem 4'te karayolu taşımacılığında maliyet hesabının denklemi verilmektedir.

$$M_{karayolu}=YT_{karayolu}\times YF_{dizel}+SDG\times YM\times SS \quad (4)$$

Denklemden $M_{karayolu}$, karayolunda bir konteyner için hesaplanan maliyet; $YT_{karayolu}$, karayolunda tüketilen yakıt miktarı; YF_{dizel} , dizel yakıtın litre fiyatı, SDG ton başı sürücü ve diğer giderleri, SS ise sürücü sayısını göstermektedir. Denklemden YM ise taşınan yükün tonaj değerini vermektedir.

Demiryolu maliyet hesabı

Demiryolu taşımacılığında maliyet hesabı yapılırken, TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporundan alınan ton başı birim fiyatlar ve yükün kıymet değeri hesaba katılmaktadır [26]. Demiryolu taşımacılığında maliyet hesabı, Denklem 5'i referans alarak hesaplanmaktadır.

$$M_{demiryolu}=TBF\times YM+KP \quad (5)$$

Denklemden $M_{demiryolu}$, demiryolu taşımacılığındaki maliyeti göstermektedir. TBF parametresi TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporu'ndan alınan ton başı birim fiyattır [26]. YM değeri ise konteynerde taşınan yükün tonajıdır. KP değeri, konteynerde taşınan yükün mali değerine göre 1000 km'ye kadar olan demiryolu mesafesinde yükün mali değerinin 1/1000'i, 1000 km den fazla mesafeler için ise 2/1000'sine denk gelen kıymet primine karşılık gelmektedir.

Denizyolu maliyet hesabı

Denizyolu maliyet analizi yapılırken yakıt tüketimi, yükleme boşaltma masrafı, terminal hizmeti, limana giriş çıkış ücretleri ele alınmaktadır. Yakıt tüketimi dışında kalan maliyet kalemleri TCDD'nin Liman Hizmetleri Tarifesinden alınan birim fiyatlara göre hesaplanmaktadır [27]. Limanda yükleme boşaltma gideri 352 TL/konteyner, limanda terminal hizmeti kapsamında 137,2 TL/konteyner, yük karayolu ile aktarma yapıyor ise limana giriş-çıkış ücreti 98 TL/taşıt alınmaktadır. Gemide personel ve diğer giderler ise 6,16 TL/gün/konteyner olarak hesaba katılmaktadır. Ülkemizde denizyolu ulaşımında yük gemilerinde, akaryakıt fiyatlarına uygulanan Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) denizyolu taşımacılığı yapan gemilerin akaryakıtlarına uygulanmamaktadır. Bu nedenle denizyolu taşımacılığında fuel oil ve dizel akaryakıt fiyatlarının ÖTV'siz değerleri hesaba katılmaktadır. ÖTV'siz fuel oil 2,56 TL/kg, ÖTV'siz motorin ise 3,45 TL/l kabul edilerek maliyet hesabı yapılmaktadır. Denizyolu taşımacılığında maliyet hesabı Denklem 6'yı esas alarak yapılmaktadır

$$M_{denizyolu} = (YT_{anamakine} \times FOF + YT_{yardımcı makine} \times DF) / KS + YB + TH + LGÇ + GEG \quad (6)$$

$M_{denizyolu}$, denizyolu taşımacılığında konteyner başına düşen maliyet değerini göstermektedir. $YT_{ana makine}$ parametresi ana makinenin seyirde tükettiği yakıt miktarını, $YT_{yardımcı makine}$ ise yardımcı makinenin seyirde ve limanda yaktığı yakıt miktarını vermektedir. FOF değeri ÖTV'siz fuel oil litre fiyatını, DF ise ÖTV'siz dizel yakıtın litre maliyetini temsil etmektedir. GEG parametresi gemi personeli ve dolaylı giderleri göstermektedir. KS, geminin taşıdığı konteyner sayısını; YB, yükleme boşaltma giderlerini; TH, terminal hizmetlerini; LGÇ değeri ise karayolu aktarması var ise karayolu taşıtının limana giriş çıkış ücretini göstermektedir.

2.3. Taşımacılık Süresi Hesabı

Ulaştırma süresi, sefer sıklığı, dakiklik müşteriler tarafından dikkate alınan önemli etmenlerdir. Ürünün ortalama teslimat süresi çoğu zaman en önemli nakliye parametresi olarak belirlenmektedir [28]. Bu çalışmada, yükün çıkış biriminden varış birimine kadar geçen süreçte, yükün yükleme boşaltma süresinden, yolda geçen taşıma süresine kadar bütün süreçler, taşımacılık süresi başlığı altında değerlendirilmektedir.

Karayolu taşımacılık süresi hesabı

Yükleme boşaltma süresi 30 dakika alınmaktadır [22]. Karayolunda taşımacılık süresi hesaplanırken sürücünün her 4,5 saatte 45 dakika mola vermektedir. İkinci 4,5 saat sürüşten sonra 14,25 saat sürücüye dinlenme süresi verilmektedir. Taşıtı en az iki sürücü kullanması halinde her 30 saatlik sürede her bir sürücü en az 8 saat kesintisiz olarak dinlenmektedir [29]. Ortalama hız 80 km/sa alınmaktadır [30]. Karayolu yük taşımacılığı için taşımacılık süresi Denklem 7'ye göre hesaplanmaktadır.

$$TS_{karayolu} = M/H + SDS + YBS \quad (7)$$

Karayolu taşımacılık süresi Denklem 7'ye göre hesaplanmaktadır. $TS_{karayolu}$ karayolu taşımacılık süresini göstermektedir. Denklemdeki M parametresi karayolu mesafesini, H değeri taşıtın ortalama hızını, SDS sürücü dinlenme sürelerini, YBS ise yükleme boşaltma sürecindeki geçen zamanı temsil etmektedir.

Denizyolu taşımacılık süresi hesabı

Denizyolu taşımacılığında zaman hesaplanırken, yükleme-boşaltma süresi 3 gün alınmaktadır [22]. Geminin sürati yakıt tüketim hesabında da bahsedildiği gibi 25 knot olarak alınmaktadır. Denizyolu yük taşımacılığı için taşımacılık süresi Denklem 8'a göre hesaplanmaktadır.

$$TS_{denizyolu} = M/H + \lambda \times YBS \quad (8)$$

Denizyolu taşımacılık süresi Denklem 8'de verilen formüle göre hesaplanmaktadır. $TS_{denizyolu}$ denizyolu taşımacılık süresini, M denizyolundaki mil cinsinden mesafeyi göstermektedir. H parametresi knot biriminde geminin hızını, YBS ise limanda yükleme boşaltma süresini göstermektedir. λ katsayısı liman da oluşabilecek operasyonel, iklimsel ve mevcut liman trafiğine göre belirlenen katsayıdır.

Demiryolu taşımacılık süresi hesabı

Demiryolu taşımacılığında yükleme-boşaltma süresi 22,5 dakika alınmaktadır[2]. Ülkemizde yük trenleri maksimum 70 km/sa hıza çıkabilirken, Avrupa ülkelerinde yük trenleri 100 km/sa hızın üzerine çıkabilmektedir [31]. Bu sebeple çalışmada yük treninin hızı 70 km/sa seçilmektedir. Demiryolu yük taşımacılığı için taşımacılık süresi Denklem 9'a göre hesaplanmaktadır.

$$TS_{demiryolu} = M/H + \alpha \times YBS \quad (9)$$

Demiryolu taşımacılık süresi Denklem 9'a göre hesaplanmaktadır. Denklemde $TS_{demiryolu}$ demiryolu taşımacılık süresini vermektedir. M değişkeni demiryolu taşımacılığında kat edilen mesafeyi km cinsinden göstermektedir. H parametresi trenin ortalama hızını, YBS ise bir konteyner için yükleme-boşaltma süresini vermektedir. α demiryolu yük taşımacılığında yük treninde taşınan konteyner sayısı demiryolu güzergâhının başlangıç ve bitiş noktası arasındaki ara durak sayısından fazla ise ara durak sayısına, değil ise konteyner sayısına eşit alınmaktadır. α parametresi ile ara duraklarda bekleme ve yükleme boşaltma sürelerinden kaynaklı gecikmeler demiryolu taşımacılık süresine eklenmektedir.

2.4. Emisyon hesabı

Ülkemizde, ulaştırma sektörünün, tüm sektörlerle göre sera gazı emisyonu payı %5,63 oranına sahiptir [32]. Bu çalışmada ekonomik, hızlı güzergâh anlayışının yanı sıra çevreci güzergâh anlayışı da ön plana çıkarılmaktadır. Ulaşım türlerine bağlı olarak emisyon miktarı karayolu, demiryolu için Denklem 10'a göre hesaplanmaktadır [33].

$$E = YM \times D \times EF \quad (10)$$

Denklemde E, gram cinsinden CO₂ salınım miktarını vermektedir. YM taşınan yük miktarını, D taşıma mesafesini ve EF ise ton başı CO₂ emisyon faktörünü göstermektedir. EF'nin hesabı ise Denklem 11'de verilmektedir.

$$EF = T \times M \times e / (1\ 000\ 000) \quad (11)$$

Denklemde T yük miktarı, M mesafe, e ise ton-km başı gram cinsinden CO₂ emisyon miktarını vermektedir. Denizyolu taşımacılığında emisyon miktarı Denklem 12'ye göre hesaplanmaktadır [22].

$$E=T \times P \times EF \times MY \quad (12)$$

Denklemden T çalışma türünde (seyir veya manevra) geminin bulunduğu zaman, P geminin çalışma türünde kullandığı makinelerin güçleri, EF gemi türü ve emisyon türüne göre emisyon çarpanıdır. MY çarpanı ise makinelerin ilgili çalışma türündeki yüzde makine gücüdür. Geminin ana makine gücü 1610 kW, yardımcı makine gücü ise 165 kW alınmaktadır. Jeneratörlerin gücü ise 47 kW alınmaktadır. Ana Makine yükü gemi seyir halindeyken %80, manevrada iken ise %40'tır [22]. Geminin manevra süresi 2 saat (0,083 gün) kabul edilmektedir.

2.5. Genelleştirilmiş maliyet

Ulaştırma modunun seçim kriterleri, büyük ölçüde yük türüne bağlıdır [v]. Örneğin zaman, değer / kg oranı yüksek olan ve kısa yaşam döngüleri olan ürünler için diğer seçim kriterlerine göre daha önemli bir kriterdir. Ulaştırma ekonomisinde bir seyahatin parasal ve parasal olmayan maliyetlerin toplamı genelleştirilmiş maliyet olarak tanımlanmaktadır [34]. Çalışmada, rotaların birbirleri ile karşılaştırılmasında bütün parametrelerin etkili bir şekilde kullanılması için genelleştirilmiş maliyet hesabı da yapılmaktadır. Genelleştirilmiş maliyet hesaplanması için öncelikle bütün parametreler kendi içlerinde normalize edilmektedir (Denklemler 13). Normalize edildikten sonra değerler toplanıp ortalaması alınarak genelleştirilmiş maliyete ulaşılmaktadır (Denklemler 14).

$$X_N = (X_{max} - X) / (X_{max} - X_{min}) \quad (13)$$

Denklemler 13'te X_N değeri sayının normalizasyon değerini gösterirken, X_{max} değerler içerisindeki maksimumu, X_{min} değerler içerisindeki minimum değeri ve X değeri normalize edilmek istenen veriyi temsil etmektedir.

$$GM = (YT_N + M_N + TS_N + E_N) / 4 \quad (14)$$

Denklemler 14'te GM değeri genelleştirilmiş maliyete karşılık gelirken, YT_N normalize edilmiş yakıt değerini, M_N normalize edilmiş maliyeti, TS_N normalize edilmiş taşımacılık süresini ve E_N normalize edilmiş emisyon değerini göstermektedir.

3. Bulgular ve tartışma

Hatay'da ihracat potansiyeli yüksek olan filtre malzemesi yükü esas alınmaktadır. Yükün standart 40' konteyner ile taşındığı kabul edilmektedir. Filtre fabrikasından alınan bilgilere göre 5, 10 ve 14 ton yük birimleri seçilmektedir. Trakya bölgesinde Çorlu sanayisine hakim olan Tekirdağ iline yük taşımacılığı yapılmaktadır. Vaka analizi olarak Tekirdağ'ın seçilmesinin nedeni çok türlü taşımacılık uygulamalarının yapılabilecek potansiyelinin yüksek olmasından kaynaklıdır. Tablo 1'de oluşturulan rotaların mod değişim noktaları verilmektedir.

Tablo 1. Hatay ve Tekirdağ arasındaki taşımacılık rotaları ve mod değişim noktaları.

Ulaşım Rotası	Başlangıç Noktası	1. Ulaşım Modu	1. Mod Değişim Noktası	2. Ulaşım Modu	2. Mod Değişim Noktası	3. Ulaşım Modu	Variş Noktası
Unimodal Karayolu		Karayolu	-	-	-	-	
Unimodal Denizyolu		Denizyolu	-	-	-	-	
Unimodal Demiryolu		Demiryolu	-	-	-	-	
Multimodal 1	Hatay	Denizyolu	Antalya	Karayolu	Isparta	Demiryolu	Tekirdağ
Multimodal 2		Demiryolu	Balıkesir	Denizyolu	-	-	
Multimodal 3		Demiryolu	Samsun	Denizyolu	-	-	
Multimodal 4		Demiryolu	İzmit	Denizyolu	-	-	

Hatay-Tekirdağ arasında oluşturulan rotaların ulaşım türlerine göre mesafe dağılımları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Hatay ve Tekirdağ arasındaki taşımacılık rotalarının türlerine göre mesafe değerleri.

Ulaşım Rotası	Mesafe		
	Karayolu(km)	Denizyolu(mil)	Demiryolu (km)
Unimodal Karayolu	1164	-	-
Unimodal Denizyolu	47,3	827,37	-
Unimodal Demiryolu	15,7	-	1215
Multimodal 1	152,8	290	618
Multimodal 2	49,20	52,52	1228
Multimodal 3	49,20	466,75	1019
Multimodal 4	49,20	115,04	1157

Oluşturulan rotaların yakıt tüketimi, maliyet, taşıma süresi ve emisyon değerleri materyal metotta belirtilen kabuller dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Bulunan sonuçlara göre rotalar arası karşılaştırmalar yapılmaktadır. Bu amaçla hem yakıt tüketimi, hem maliyet, hem taşıma süresi, hem de emisyon değerlerini ayrı ayrı değerlendirmenin yanı sıra bunların etkili olduğu genelleştirilmiş maliyet karşılaştırması yapılmaktadır.

3.1. Yakıt tüketimi hesabı

Hatay-Tekirdağ arası unimodal karayolu için;

Karayolu taşımacılığında yakıt tüketimini yükün ağırlığı etkilediği için hesaplar üç farklı yük tonajı için yapılmaktadır. Denklem 1’e göre Hatay-Tekirdağ arasında karayolu taşımacılığında yakıt tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

5 ton yük taşınmasında;

$$Y_{T_{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (Y_{T_{max}} - Y_{T_{min}}) + Y_{T_{min}}) \times (M/100) \\ = (1164/100) \times ((5/26) \times (40-30) + 30) = 371,59 \text{ lt dizel}$$

10 ton yük taşınmasında;

$$Y_{T_{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (Y_{T_{max}} - Y_{T_{min}}) + Y_{T_{min}}) \times (M/100) \\ = (1164/100) \times ((10/26) \times (40-30) + 30) = 393,97 \text{ lt dizel}$$

14 ton yük taşınmasında;

$$Y_{T_{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (Y_{T_{max}} - Y_{T_{min}}) + Y_{T_{min}}) \times (M/100) + (M/100) \times Y_{T_{min}} \\ = (1164/100) \times ((14/26) \times (40-30) + 30) = 411,88 \text{ lt dizel}$$

5 ton yük taşınırken taşıt 371,59 lt, 10 ton yük taşınırken 393,97 lt, 14 ton yük taşınırken 411,88 lt dizel yakıt tüketmektedir. Yük ağırlığının 5 tondan 10 tona çıkması ile yakıt tüketiminde %6 artış gözlenmektedir. 14 ton taşınması için taşıtın yakıt tüketimi 5 tona kıyasla %10,8 artmaktadır.

Hatay-Tekirdağ arası unimodal denizyolu için;

Hatay ve Tekirdağ arasında denizyolu taşımacılığı için yakıt tüketimi hesaplanırken öncelikle geminin seyir süresi belirlenmektedir.

$$\text{Seyir Süresi} = \text{mesafe/hız} = (827,37/25)/24 = 1,38 \text{ gün}$$

Seyirde Yakıt Tüketimi;

$$\text{Ana makine; } 500 \times 1,38 = 690 \text{ ton fuel oil}$$

$$\text{Yardımcı makine; } 30 \times 1,38 = 41,4 \text{ lt dizel}$$

$$\text{Limanda Yakıt Tüketimi} = 45 \times 3 = 135 \text{ lt dizel}$$

$$\text{YT}_{\text{denizyolu}} = (\text{SAM}_{\text{GYT}} \times \text{SS} + \text{SYM}_{\text{GYT}} \times \text{SS} + \text{LYM}_{\text{GYT}} \times \text{LBS}) / \text{KS} = (690 \times 1000 + 41,4 + 135) / 1000 = 69,02 \text{ lt/konteyner}$$

Denizyolu taşımacılığında yakıt tüketimi 69,02 lt/konteyner hesaplanmaktadır. Görüldüğü gibi bir konteynerin karayolunda taşınması ile bir konteynerin denizyolunda taşınması karşılaştırıldığında yakıt tüketiminde oldukça fark oluşmaktadır.

Hatay-Tekirdağ arası unimodal demiryolu için;

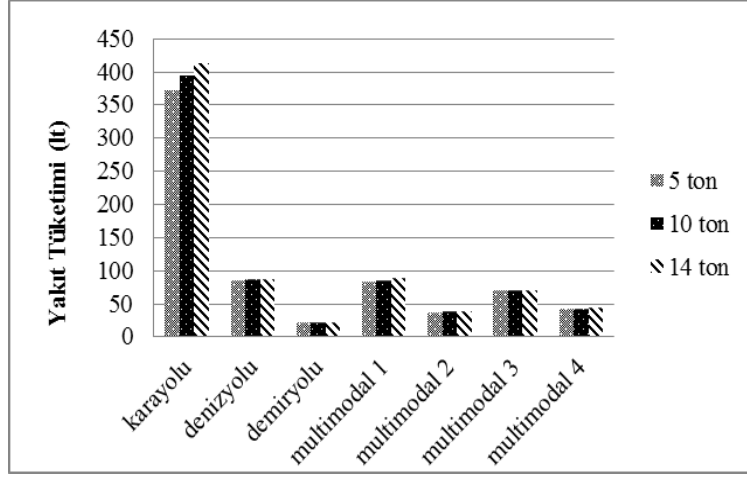
Hatay-Tekirdağ arasındaki demiryolu taşımacılığı için yakıt tüketimi Denklem 3'e göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Konteyner başı yakıt tüketimi;

$$\text{YT}_{\text{demiryolu}} = ((M/100) \times \text{OYT}) / \text{KS} = [(1215/100) \times 100] / 80 = 15,19 \text{ lt/konteyner dizel}$$

Demiryolu taşımacılığında 15,19 lt/konteyner dizel yakıt yaktığı hesaplanmaktadır. Diğer unimodal ulaşım türleri ile karşılaştırıldığında yakıt tüketimi bakımından karayolu taşımacılığına ve denizyolu taşımacılığına kıyasla daha avantajlı çıkmaktadır. Tabii ki ulaşım coğrafyasının bunun üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Hatay ve Tekirdağ arasında yapılan taşımacılık türlerine göre yakıt tüketim grafiği Şekil 1'de verilmektedir. Grafikte karayolu ile yapılan yük taşımacılığında diğer ulaşım türlerine kıyasla açık ara fazla yakıt tüketildiği görülmektedir. En az yakıt tüketimi ise 20,19-20,74 lt yakıt tüketim aralığı ile demiryolu rotasında hesaplanmaktadır. Multimodal 2 ve multimodal 3 rotalarında unimodal denizyolu ve karayolu taşımacılığından daha az yakıt tüketiminin gerçekleştiği dikkat çekmektedir. Yük tonajının artışı ulaşım türleri içerisinde yakıt tüketiminde çok fark yaratmamaktadır.



Şekil 1. Hatay-Tekirdağ arası ulaşım rotalarına göre yakıt tüketim miktarları.

3.2. Maliyet hesabı

Hatay-Tekirdağ arası unimodal karayolu için;

Hatay'dan Tekirdağ'a yapılacak olan konteyner yük taşımacılığı için karayolu maliyet hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Karayolu taşımacılığında yükün ağırlığı, maliyeti belirleyen önemli parametrelerden birisidir. Bundan dolayı yük arttıkça maliyette de artış gözlenmektedir.

5 ton yük taşınmasında;

$$M_{\text{karayolu}} = Y_{T_{\text{karayolu}}} \times Y_{F_{\text{dizel}}} + \text{SDG} \times Y_{M} \times \text{SS} = 371,59 \text{ lt} \times 5,1 \text{ TL/lt} + 5 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} \times 1 = 1920,11 \text{ TL}$$

10 ton yük taşınmasında;

$$M_{\text{karayolu}} = Y_{T_{\text{karayolu}}} \times Y_{F_{\text{dizel}}} + \text{SDG} \times Y_{M} \times \text{SS} = 393,97 \text{ lt} \times 5,1 \text{ TL/lt} + 10 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} \times 1 = 2059,25 \text{ TL}$$

14 ton yük taşınmasında;

$$M_{\text{karayolu}} = Y_{T_{\text{karayolu}}} \times Y_{F_{\text{dizel}}} + \text{SDG} \times Y_{M} \times \text{SS} = 411,88 \text{ lt} \times 5,1 \text{ TL/lt} + 14 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} \times 1 = 2170,59 \text{ TL}$$

Yük tonajının 5 tondan 10 tona çıkartılması ile birlikte maliyette %7,30, yükün 14 tona çıkması ile %13,05 artış görülmektedir.

Hatay-Tekirdağ arası unimodal denizyolu için;

Denizyolu taşımacılığında konteynerin ağırlığı hesaba katılmamakta, konteyner adedi üzerinden hesap yapılmaktadır. Aşağıda Hatay'dan Tekirdağ'a denizyolu ile giden bir yük için konteyner başı maliyet hesabı verilmektedir.

$$M_{\text{denizyolu}} = (Y_{T_{\text{anamakine}}} \times \text{FOF} + Y_{T_{\text{yardımcımakine}}} \times \text{DF}) / \text{KS} + Y_{B} + \text{TH} + \text{LGÇ} + \text{GEG} = (690 \times 1000 \text{ lt} \times 2,56 \text{ TL/t} + 176,4 \text{ lt} \times 3,45 \text{ TL/lt}) / 10000 + 352 \text{ TL} + 137,2 \text{ TL} + 98 \text{ TL} + 6,16 \text{ TL/gün} \times (1,23 + 3) \text{ gün} = 789,96 \text{ TL/konteyner}$$

Denizyolu taşımacılığında maliyeti etkileyen en önemli parametreler, limanda alınan hizmetlerden oluşmaktadır. Karayolu taşımacılığı ile karşılaştırıldığında denizyolu taşımacılığı ile yaklaşık 2,74 kat maliyette tasarruf sağlanmaktadır.

Hatay-Tekirdağ arası unimodal demiryolu için;

Aşağıda Hatay ve Tekirdağ arasında yapılacak demiryolu konteyner yük taşımacılığının farklı yük tonajı ve yük değerlerine bağlı olarak maliyet hesabı verilmektedir. TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporundan alınan ton başı birim fiyat tarifesine göre bu iki nokta arası maliyet 108,50 TL/t hesaplanmaktadır. Bu iki nokta arası 1215 km olarak bulunmakta ve mesafe 1000 km den fazla olduğu için kıymet primi yükün değerinin 2/1000'si alınmaktadır.

5 ton yük için;

$$M_{\text{demiryolu}} = \text{TBF} \times \text{YM} + \text{KP} = 108,50 \text{ TL/t} \times 5 \text{ t} + 40000 \text{ TL} \times 2/1000 = 622,5 \text{ TL}$$

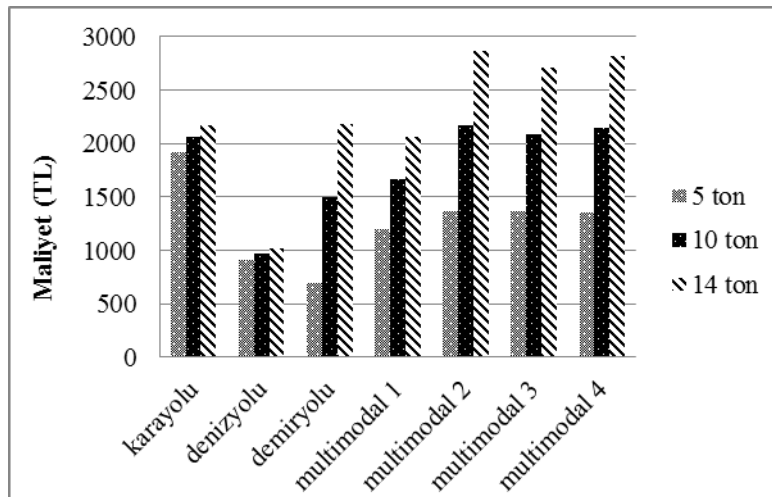
10 ton yük için;

$$M_{\text{demiryolu}} = \text{TBF} \times \text{YM} + \text{KP} = 108,50 \text{ TL/t} \times 10 \text{ t} + 145000 \text{ TL} \times 2/1000 = 1375 \text{ TL}$$

14 ton yük için;

$$M_{\text{demiryolu}} = \text{TBF} \times \text{YM} + \text{KP} = 108,50 \text{ TL/t} \times 14 \text{ t} + 250000 \text{ TL} \times 2/1000 = 2019 \text{ TL}$$

Yükün 5 tondan 10 tona çıkması ve mali değerinin 40.000 TL'den 145.000 TL'ye çıkması ile taşıma maliyeti %121 artmaktadır. Yük tonajı 14 ton ve mali değeri 250.000 TL olması ile maliyet %224 artmaktadır. Burada görüldüğü gibi demiryollarında yükün kıymet değeri, maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Şekil 2'de ulaşım modlarına ve yük tonajına göre maliyet analizi verileri görülmektedir. Grafik incelendiğinde denizyolu ulaşım türünün diğer türlere göre en ucuz taşımacılık olduğu açıkça görülmektedir. En maliyetli taşımacılık ise üç yük birimi içinde karayolu taşımacılığıdır. Demiryolu taşımacılığı yük tonajı ve değeri arttıkça taşımacılık maliyetleri ciddi oranda etkilenmektedir. Multimodal taşımacılığın 5 ve 10 ton yük birimleri için karayoluna kıyasla daha ucuz taşımacılık türü olduğu göze çarpmaktadır. Güzergâh kombinasyonları içerisinde bulunan demiryolu ve denizyolu taşımacılığı oranına göre yük birimi arttıkça maliyetlerdeki artışta buna göre artış göstermektedir.



Şekil 2. Hatay-Tekirdağ arası ulaşım rotalarına göre maliyet değerleri.

3.3. Taşımacılık süresi hesabı

Her güzergâh için materyal metotta verilen taşımacılık süresi formülleri kullanılarak zaman hesapları aşağıda yapılmaktadır. Karayolu taşımacılık ayağında yükün tek

sürücülü olarak taşındığı kabulü yapılarak hesap yapılmaktadır. Demiryolu taşımacılığında ara durak sayısı 87 ve taşınan konteyner sayısı 80 adet olduğu için α değeri taşınan konteyner sayısına eşit alınmaktadır. Denizyolu taşımacılık süresi hesabında limanda mevsimsel ve operasyonel gecikmelerin yaşanmadığı kabul edilerek λ değeri 1 alınmaktadır. Yük tonajına bağlı olarak taşımacılık süreleri değişmemektedir.

Hatay-Tekirdağ arası Unimodal Karayolu için;

$$TS_{\text{karayolu}}=M/H+SDS+YBS=(1164 \text{ km})/(80 \text{ km/sa})+45 \text{ dk}+30 \text{ dk}+14,25 \text{ sa} = 30,05 \text{ sa}$$

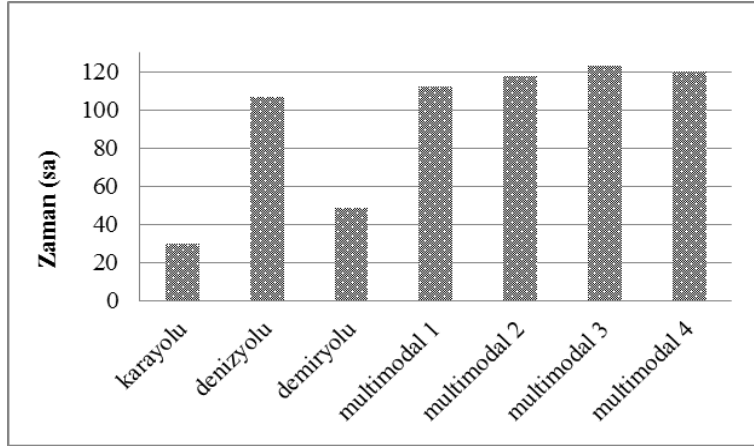
Hatay-Tekirdağ arası Unimodal Denizyolu için;

$$TS_{\text{denizyolu}}=M/H+ \lambda \times YBS=(827,37 \text{ mil})/(25 \text{ knots})+1 \times 3 \text{ gün} \times 24 \text{ sa} = 105,10 \text{ sa}$$

Hatay-Tekirdağ arası Unimodal Demiryolu için;

$$TS_{\text{demiryolu}}=M/H+ \alpha \times YBS=(1215 \text{ km})/(70 \text{ km/sa})+80 \times 22,5 \text{ dk} = 47,36 \text{ sa}$$

Hatay-Tekirdağ arasında tasarlanan güzergâh senaryolarının taşımacılık süreleri değerleri Şekil 3'te karşılaştırılmaktadır. En hızlı taşımacılık güzergâhı 30,05 sa ile karayoludur. Lojistik operasyon süreçlerinden kaynaklı olarak en verimsiz taşımacılık rotaları multimodal ve denizyoludur. Karayolu taşımacılığı ile karşılaştırıldığında 4 kata varan bir taşımacılık süre artışı görülmektedir. Bozulabilir yükler için ve hızlı nakliyenin gerektiği yükler için multimodal ve denizyolu taşımacılığının elverişsiz olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Hatay-Tekirdağ arası ulaşım rotalarına göre taşımacılık süresi dağılımları.

3.4. Emisyon hesabı

Hatay ve Tekirdağ arasında gerçekleştirilen güzergahlardan unimodal taşımacılıklara ait emisyon hesapları aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Emisyon hesabında karayolu ve demiryolu taşımacılığında yükün tonajı dikkate alınırken, denizyolu taşımacılığında gemide çalışan makine türlerine bağlı olarak emisyon hesabı yapılmaktadır.

Hatay-Tekirdağ arası unimodal karayolu taşımacılığı için emisyon hesabı;

5 ton yük için;

$$EF= T \times M \times e / (1000000) = 5 \text{ t} \times 1164 \text{ km} \times 151,1 / 1000000 = 0,879 \text{ gr/t-km}$$

$$E = YM \times D \times EF = 5 \text{ t} \times 1164 \text{ km} \times 0,879 \text{ gr/t-km} = 5115,78 \text{ gr}$$

10 ton yük için;

$$EF= T \times M \times e / (1000000) = 10 \text{ t} \times 1164 \text{ km} \times 151,1 / 1000000 = 1,759 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 10 \text{ t} \times 1164 \text{ km} \times 1,759 \text{ gr/t-km} = 20474,76 \text{ gr}$$

14 ton yük için;

$$EF= T \times M \times e / (1000000) = 14 \text{ t} \times 1164 \text{ km} \times 111,8 / 1000000 = 1,822 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 14 \text{ t} \times 1164 \text{ km} \times 1,822 \text{ gr/t-km} = 29691,31 \text{ gr}$$

Hatay-Tekirdağ arası unimodal demiryolu taşımacılığı için emisyon hesabı;

5 ton yük için;

$$EF= T \times M \times e / (1000000) = 5 \text{ t} \times 1215 \text{ km} \times 22 / 1000000 = 0,134 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 5 \text{ t} \times 1215 \text{ km} \times 0,134 \text{ gr/t-km} = 814,05 \text{ gr}$$

10 ton yük için;

$$EF= T \times M \times e / (1000000) = 10 \text{ t} \times 1215 \text{ km} \times 22 / 1000000 = 0,267 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 10 \text{ t} \times 1215 \text{ km} \times 0,267 \text{ gr/t-km} = 3244,05 \text{ gr}$$

14 ton yük için;

$$EF= T \times M \times e / (1000000) = 14 \text{ t} \times 1215 \text{ km} \times 22 / 1000000 = 0,374 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 14 \text{ t} \times 1215 \text{ km} \times 0,374 \text{ gr/t-km} = 6361,74 \text{ gr}$$

Hatay-Tekirdağ arası unimodal denizyolu taşımacılığı için emisyon hesabı;

Seyirde Emisyon Miktarı;

$$\text{Ana makine; } E = T \times P \times EF \times MY = 1,38 \text{ gün} \times 1610 \text{ kW} \times 672 \times 0,80 = 1194439,68 \text{ g/sefer}$$

$$\text{Yardımcı makine; } E = T \times P \times EF \times MY = 1,38 \text{ gün} \times 165 \text{ kW} \times 672 \times 0,80 = 122411,52 \text{ g/sefer}$$

$$E_{\text{seyir}} = 1194439,68 + 122411,52 = 1316851,2 \text{ g/sefer}$$

Manevrada Emisyon Miktarı;

$$\text{Ana makine; } E = T \times P \times EF \times MY = 1/12 \text{ gün} \times 1610 \text{ kW} \times 730 \times 0,40 = 39176,67 \text{ g/manevra}$$

$$\text{Yardımcı makine; } E = T \times P \times EF \times MY = 1/12 \text{ gün} \times 165 \text{ kW} \times 730 \times 0,80 = 8030 \text{ g/manevra}$$

$$E_{\text{manevra}} = 39176,67 + 8030 = 47206,67 \text{ g/manevra}$$

Jeneratör için Emisyon Miktarı;

$$\text{Jeneratörler; } E_{\text{jeneratör}} = T \times P \times EF \times MY = 4,38 \text{ gün} \times 47 \text{ kW} \times 672 \times 0,80 = 110670 \text{ g/liman}$$

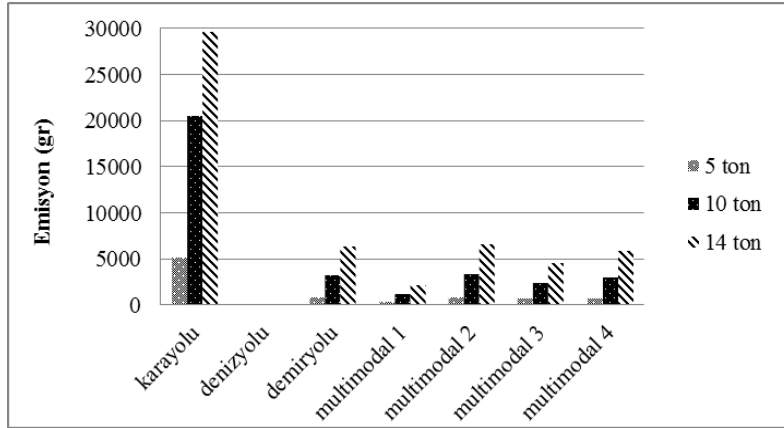
Denizyolunda Toplam Emisyon Miktarı;

$$E_{\text{deniz(gemi)}} = E_{\text{seyir}} + E_{\text{manevra}} + E_{\text{liman}} = 1316851,2 + 47017,84 + 110670 = 1474539,38 \text{ g/gemi}$$

$$E_{\text{deniz(konteyner)}} = 1474539,38 / 10000 = 147,45 \text{ g/konteyner}$$

Şekil 4'te ulaşım modları ve taşınan yükün ağırlığına bağlı olarak hesaplanan emisyon miktarları verilmektedir. Grafik incelendiğinde minimum emisyon miktarı unimodal denizyolu taşımacılığında görülmektedir. En fazla CO₂ salınımı ise 29691,31gr ile 14 ton yükün karayolu ile taşınmasında gerçekleşmektedir. Multimodal taşımacılık güzergahı incelendiğinde, karayolu taşımacılığına ve demiryolu taşımacılığına kıyasla daha az emisyon salınımı hesaplanmaktadır. Bunun nedeni ise multimodal taşımacılık güzergahının ağırlıklı denizyolu taşımacılığından oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ülkemizde yurtiçi yük taşımacılığında ağırlıklı karayolunun tercih edilmesinden dolayı, taşımacılıktan kaynaklanan emisyon değerleri oldukça yüksektir.

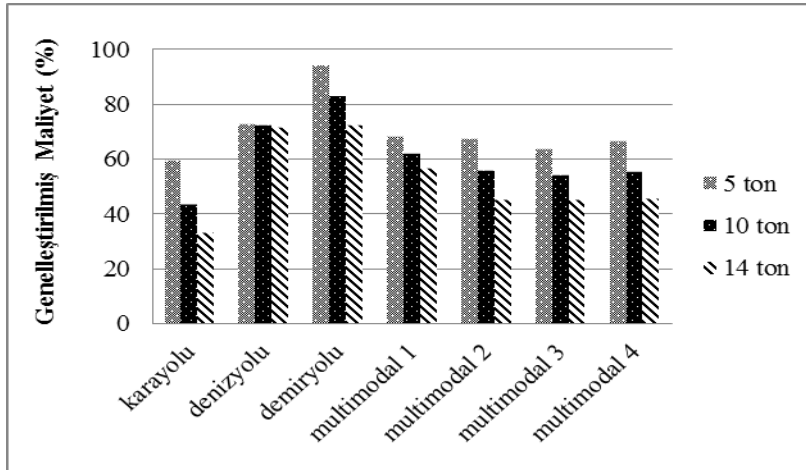
Taşımacılığın denizyoluna kaydırılması CO₂ salınımının indirgenmesinde oldukça etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4. Hatay-Tekirdağ arası ulaşım rotalarına göre emisyon miktarları.

3.5. Genelleştirilmiş maliyet

İskenderun ve Tekirdağ arasındaki rotaların genelleştirilmiş maliyet değerleri Şekil 5'deki grafikte görülmektedir. Grafiğe göre performansı en yüksek güzergâh 5, 10, 14 ton için sırasıyla %94,35, %82,99 ve %72,43 performans ile unimodal demiryolu taşımacılık güzergâhı en verimli çıkmaktadır. En verimsiz güzergâh ise grafikte görüldüğü gibi tüm yük birimleri için unimodal karayolu taşımacılık rotasıdır. Yük değeri ve ağırlığının artışı karayolu, demiryolu ve multimodal taşımacılık türlerini önemli ölçüde etkileyerek genelleştirilmiş maliyet grafiğine yansımaktadır.



Şekil 5. Hatay-Tekirdağ performans indeksi.

4. Sonuç

Çalışmada ulaşım türleri için, performans kriterlerine göre yapılan rota karşılaştırılması çalışması sonuçları bu bölümde verilmektedir. Hatay-Tekirdağ arası oluşturulan rotalar, dört farklı karar değişkeni ve bu değişkenlerin hepsinin bir arada değerlendirildiği genelleştirilmiş maliyete göre karşılaştırılmaktadır.

Yakıt tüketimi ele alındığında minimum yakıt tüketimi 20,19-20,74 litre dizel ile demiryolu ulaşım güzergâhında gerçekleşmektedir. Rotalar arasında en fazla yakıt tüketimi ise 371-58-411,88 litre dizel ile karayolunda hesaplanmaktadır. Taşımacılıktaki karayolunun payının diğer türlere aktarılması yenilenemez enerji kaynaklarından tasarruf etmede önemli etkiye sahip olmaktadır.

Rotaların maliyet değerlerine göre kıyaslaması yapıldığında minimum maliyet, 5ton yük için 698,06 TL ile unimodal demiryolu taşımacılığında, 10 ve 14 ton yük için 972,08 TL ve 1015,08 TL ile unimodal denizyolu taşımacılığında görülmektedir. Maliyet açısından en elverişsiz güzergâh ise 5 ton yük için 1920,08 TL ile karayolu, 10 ve 14 ton yük için sırasıyla 2177,36 TL ve 2865,22 TL ile multimodal 2 taşımacılık rotasıdır. Mod değişimine gerek duyulmayan, kapıdan kapıya taşımacılık için tercih edilen karayolu taşımacılığının maliyet açısından uygun olmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Bu da taşımacılıkta karayolu ulaşım türünün tercihinin ciddi mali kayıplara sebebiyet verdiğini göstermektedir. Multimodal taşımacılık rotaları içerisindeki demiryolu taşımacılığı mali değeri yüksek olan yüklerin taşınması nakliye maliyetleri olumsuz yönde etkilenmektedir.

Taşımacılık süresine göre rotalar incelendiğinde, en hızlı rota 30,05 saat ile karayolu taşımacılık güzergâhıdır. Karayolu ile yapılan taşımacılıklarda yasal çerçevede sürücü dinlenme sürelerinden dolayı taşıma süreleri artmaktadır. Demiryolu taşımacılığında her ne kadar gecikmelere yol açacak insan faktörlü etmenler olmasa da, ara duraklarda meydana gelen zamansal kayıplardan dolayı taşımacılık süresi için olumsuz etkilenmektedir. Multimodal ve denizyolu taşımacılıklarında meydana gelen operasyonel zaman kayıpları taşımacılık sürelerini arttırmaktadır. Yük aktarma noktalarındaki süreçsel planlamaların düzenlenmesi ile multimodal ve denizyolu yük taşımacılık rotaları tercih edilebilir hale getirilebilir.

Rotalarda ulaşım türü araçlarına göre hesaplanan emisyon değerlerine göre en çevreci güzergah 5, 10 ve 14 ton yük taşınması için sırasıyla 154,79 gram,177,04 gram ve 190,39 gram ile denizyoludur. En fazla CO₂ salınımı ise 5118,12 gram, 20472,48 gram ve 28689,57 gram ile karayolu taşımacılığında görülmektedir.

Dört karar değişkenine bağlı olarak hesaplanan genelleştirilmiş maliyet değerlerine göre performansı en yüksek güzergah %94,35 - %72,43 aralığında demiryolu taşımacılığı en iyi çıkmaktadır. En düşük performanslı rota ise %59,27-%33,01 ile karayolu taşımacılık güzergâhıdır. Genelleştirilmiş maliyet sonuçlarında görüldüğü gibi ülkemizde yoğun trafiğe yol açan ve ağır yüklerden kaynaklı olarak karayolu bakım onarım maliyetlerini yükselten karayolu yük taşımacılığının elverişsiz olduğu açıkça görülmektedir.

İleride yapılacak olan çalışmalarda, genelleştirilmiş maliyet hesaplarında bu çalışmada eşit ağırlıklı olarak alınan güzergâh karar değişkenleri, firmalar ile anket çalışması yapılarak yükün cinsine bağlı ihtiyaca göre ağırlıklandırılması yapılabilir. Bu şekilde karar değişkenlerinin katkısı zamana, yük cinsine bağlı olarak taşımacılık politikalarına göre esnek bir davranış gösterebilir.

Kaynaklar

- [1] Cansız, O. F., Göçmen, S., Distance analysis of multimodal transportation based on traveling salesman problem with particle swarm optimization method, **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, 5,6,1-6, (2018).
- [2] Cansız, O. F., Ünsalan, K., Cost analysis of multimodal freight transportation : a case of İskenderun, **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, 5,5, 315-319, (2018).
- [3] Cansız, O. F., Ünsalan, K., Çalışıcı, M., Göçmen, S., Çok türlü taşımacılık güzergâhlarının gezgin satıcı problemleri baz alınarak tasarlanması: güzergâhların optimizasyonu ve akıllı ulaşım sistemlerine entegrasyonu, **1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi**, Balıkesir, Türkiye, 58-59, (2018a).
- [4] Cansız, O. F., Ünsalan, K., Çalışıcı, M., Göçmen, S. (2018b). Şehirlerarası güzergâh performans indeksinin çok türlü taşımacılık baz alınarak analiz edilmesi: analiz parametrelerinin oluşturulması ve AUS entegrasyonu. **1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi**, Balıkesir, Türkiye, 213-214, (2018b).
- [5] Cansız, Ö. F., Ünsalan, K., Çalışıcı, M., Göçmen, S., Şehirlerarası taşımacılık performansı indeksinin çok türlü taşımacılık baz alınarak analiz edilmesi: çok türlü güzergâhların tasarımı ve AUS entegrasyonu, **1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi**, Balıkesir, Türkiye, 5-8, (2018c).
- [6] Cansız, O. F., Polat, M. I., Analysis of public transport system, Hatay example: detection of existing system, **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, 5,5, 95-102, (2018).
- [7] Tanır, B., Marmara Bölgesi'ndeki karayolu yük taşımacılığına alternatif kombine taşımacılık sistemlerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2009).
- [8] Öztürk, T., Türkiye dış ticaretinde kombine taşımacılık ve türki cumhuriyetleri analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2010).
- [9] Erdem, M., Türkiye'de kombine taşımacılık için liman yerinin bulanık AHP ile seçimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2012).
- [10] Steadieseifi, M., Dellaert, N.P., Nuijten, W., Van Woensel, T., Raoufi, R., Multimodal freight transportation planning: A literature review, **European Journal of Operational Research**, 233, 1-15, (2014).
- [11] Vural, D., Gencer, C., Karadoğan, D., Ulaştırma uygulamalarına yönelik çok modlu model önerisi, **Savunma Bilimleri Dergisi**, 13, 1, 75-105, (2014).
- [12] Atar, F., Aydoğdu, Y. V., Duru, O., Şenol, Y. E., Kısa mesafe deniz taşımacılığının avantajları ve kombine taşımacılıktaki önemi üzerine bir çalışma, **Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi**, 5, 1, 75-91, (2013).
- [13] Petraska, A., Ciziuniene, K., Prentkovskis, O., Jarasuniene, A., Methodology of selection of heavy and oversized freight transportation system, **Transport and Telecommunication**, 19, 1, 45-58, (2018).
- [14] Woo, S. H., Kim, S. N., Kwak, D. W., Pettit, S., Beresford, A., Multimodal Route Choice in Maritime Transportation: The Case of Korean Auto-Parts Exporter, **Maritime Policy&Management**, 45, 1, 19-33, (2018).
- [15] Basu, R., Verma, M., An Expected Consequence Approach to Assessing the

- Viability of Multimodal Transportation of Crude Oil in Eastern Canada, **Case Studies on Transport Policy**, 5, 3, 518-526, (2017).
- [16] Hanssen, T.E.S., Mathisen, T.A., Jorgensen, F., Generalized transport costs in intermodal freight transport, **Procedia—Social and Behavioral Sciences**, 54, 189-200, (2012).
- [17] Janic, M., Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network, **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 12, 1, 33-44, (2007).
- [18] Du, Q., Kim, A. M., Zheng, Y., Modeling multimodal freight transportation scenarios in northern Canada under climate change impacts, **Research in Transportation Business & Management**, 23, 86-96, (2017).
- [19] Fremont, A., Franc, P., Hinterland transportation in Europe: combined transport versus road transport, **Journal of Transport Geography**, 18(4), 548–556, (2010).
- [20] Arnold, P., Peeters, D., Thomas, I., Modelling a rail/road intermodal transportation system, **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 40, 3, 255–270, (2004).
- [21] TÜİK, Sektörlere ve kullanım alanlarına göre nihai enerji tüketimi, (2005a).
- [22] Atar, F., Kısa mesafe deniz taşımacılığının avantajları ve kombine taşımacılıktaki önemi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2013).
- [23] <http://www.ustaokan.com/?Syf=26&Syz=530815>, (22.05.2018).
- [24] <http://www.nasmaritime.com/kitap/KONTGEM-15112010-SNAS.pdf>, (15.05.2018).
- [25] <http://www.denizhaber.com/konteyner-gemileri-ve-siniflandirilmalari-makale,100390.html>
- [26] [https://portal1.tcddtasimacilik.gov.tr/tcdd\(bD10ciZjPTIwMCZkPW1pbg==\)/zy02/yuk_tasima_fiyatlari](https://portal1.tcddtasimacilik.gov.tr/tcdd(bD10ciZjPTIwMCZkPW1pbg==)/zy02/yuk_tasima_fiyatlari), (10.02.2018).
- [27] TCDD (2018). TCDD Liman Hizmetleri Tarifesi.
- [28] Ballou, R. H., The evolution and future of logistics and supply chain management, **Browse Journals & Books**, 19, 4, 332-348, (2004).
- [29] <https://www.tugem.com.tr/mevzuat?mlid=2528>, (28.04.2018).
- [30] <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/HizSinirlari.aspx>, (20.05.2018).
- [31] <https://railturkeyakademi.wordpress.com/2015/04/08/demiryolunda-rekabetci-cozumler-hizli-trenler/#more-399>, (29.04.2018).
- [32] TÜİK, Ekonomik Faaliyetlere Göre Hava Emisyon Hesapları, (2015b).
- [33] <http://www.cefic.org/Industry-support/Responsible-Care-tools-SMEs/5-Environment/Guidelines-for-managing-CO2-emissions-from-transport-operations/>, (20.04.2018).
- [34] Punakivi, M. & Hinkka, V., Selection criteria of transportation mode: A case study in four Finnish industry sectors. **Transport Reviews**, 26 (2), 207-219., (2006).

Balıkesir ilinde semt pazarlarında satışı sunulan yoğurtların fiziko-kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesinin araştırılması

Hakan TAVŞANLI^{1,*}, Mukadderat GÖKMEN², Adem ÖNEN²

¹Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakültesi Veteriner Halk Sağlığı Anabilim Dalı Çağış kampüsü, Balıkesir

²Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakültesi Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı Çağış kampüsü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 24.09.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.12.2019

Öz

Bu çalışmada, Balıkesir ilinde geleneksel yöntemlerle üretilen ve semt pazarlarında satışı sunulan yoğurt örneklerinin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kalitesinin Türk Gıda Kodeksi'ne uygunluğu araştırıldı. Semt pazarlarından toplanan 50 yoğurt örneğinin yağsız kurumadde, yağ, protein, titrasyon asitliği ve pH değerleri sırasıyla; %12,07, %3,06, %4,11, %1,31 ve %4,11 olarak tespit edildi. Örneklerde Koliform, *E. coli* ve küf/maya sayıları ise sırasıyla 140 EMS/g, 112 EMS/g ve 3,47 log kob/g olarak tespit edildi. Örneklerde laktokok sayısı 7,89 log kob/g ve laktobasil sayısı ise 7,64 log kob/g olarak saptandı. Diğer yandan örneklerin hiçbirinde önemli gıda patojenleri olan *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* ve *Staphylococcus aureus* belirlenmemiştir. Çalışmamızda elde edilen bulgulara göre %14'ü yağsız kurumadde, %10'unu Koliform bakteri, %8'i *E. coli* ve % 52'si de maya/küf sayıları yönünden Türk Gıda Kodeksi'ni Fermente Süt Ürünleri Tebliği'ne (2001*; 2009) uygun olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak yoğurt örneklerinde patojen mikroorganizma tespit edilmemiş olsa da hijyen indikatörü mikroorganizmaların yüksekliği nedeniyle üretimde hijyen problemlerinin olduğu ve potansiyel halk sağlığı riskleri taşıyabilecekleri belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yoğurt, fizikokimyasal kalite, mikrobiyal kalite.

* Hakan TAVŞANLI, tavsanli@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-5124-3702>

Mukadderat GÖKMEN, mgokmen@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-9371-8956>

Adem ÖNEN, vet_adem@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1212-5727>

Physicochemical and microbiological quality of yogurts sold in locality bazaar in Balıkesir

Abstract

In this study, the physicochemical and microbiological quality of yogurts which produced by traditional methods and sold in the markets in Balıkesir province were determined and the compliance of yogurt samples to Turkish Food Codex was investigated. Non-fat dry matter, fat, protein, titration acidity and pH values of 50 yogurt samples collected from markets were as follows; 12,07%, 3,06%, 4,11%, 1,31% and 4,11% respectively. Coliform, E. coli and Yeast/mold counts of the samples were 140 EMS/g, 112 EMS/g and 3,47 log cfu/g, respectively. The number of lactococci, which are the specific microorganisms of the samples, was 7.89 log cfu/g and the number of lactobacilli was 7,64 log cfu/g. On the other hand, important food pathogens such as Salmonella spp., L. monocytogenes and S. aureus couldn't be identified in any of the samples. According to the findings obtained in our study, it was observed that 14%, 10%, 8%, 52% of the samples were not in compliance with Turkish Food Codex Communiqué on Fermented Dairy Products in terms of non-fat dry matter, Coliform, E. coli and yeast/mold counts, respectively. As a result, although pathogenic microorganisms were not detected in yogurt samples, it was determined that there are hygiene problems in production due to the presence of hygiene indicator microorganisms and these products may be a potential risk to public health.

Keywords: *Yogurt, physicochemical quality, microbial quality.*

1.Giriş

Yoğurt ilk defa Orta Asya'da göçebe topluluklar arasında evcilleştirilen hayvanlardan elde edilen sütlerin o zamanki şartlar altında daha uzun süre muhafaza edilmesi amacıyla üretilmiş ve dünyaya yayılmıştır. Yoğurt kelimesi Türkçe bir sözcük olan yoğurmak kelimesinden türemiş ve Türklerle özdeşleşmiş bir üründür [1]. Yine 11. ve 12. yüzyıllarda, Yusuf Has Hâcip'in Kutadgu Bilig ve Kâşgarlı Mahmut'un Divânü Lûgati't-Türk eserlerinde de yoğun olarak bahsedilen yoğurt; ishal, kramplar ve güneş yanıklarında da tedavi amacı ile kullanıldığını bildirmektedir [2,3,4]. Türklerin Anadolu'ya geçişi ile birlikte Selçuklu ve Osmanlı topraklarında yayılmış her öğün ve düğün yemeklerinde kendine yer bulduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır [5,6]. Avrupa ve Amerika'ya yayılması ise Osmanlı idaresi altında Selanik'te yaşayan Dr. Isaac Carasso tarafından gerçekleştirilmiştir. Isaac Carasso Balkan Türkleri'nden özellikle ishal vakalarında tedavi edici etkisini öğrendiği yoğurdu, Avrupa'nın çeşitli eczanelerinde satışı ile başlamış ve bunu takiben 1919 yılında ilk endüstriyel yoğurt üretimini gerçekleştirmiştir. O tarihlerde kurduğu yoğurt fabrikası günümüzde dünya çapında üretim yapan Danone Grup olarak bilinmektedir [2,7].

Fermente bir süt ürünü olan yoğurdun bu ölçekte yayılmasının en önemli sebebi sağlık üzerine olumlu etkilerinden kaynaklanmaktadır [7]. Bu etkiler önemli bir protein kaynağı olmasının yanında, tiamin, riboflavin, B12, folat, niasin, kalsiyum, fosfor, magnezyum ve çinko kaynağı olmasındandır [8]. Süt içerisinde bulunan laktoz, laktik

asit bakterileri tarafından fermente edilirken bağışıklık sistemi için önemli biyoaktif bileşikler ve mide bağırsak sıvılarının pH'sını düşüren laktik asit üretimi ile patojen mikroorganizmaların üremesini engellemektedir [9]. Aynı zamanda yoğurt bakterileri laktik asit üretiminin yanında diasetil, asetoin, hidrojen peroksit, reuterin, antifungal peptitler ve bakteriyosinler gibi çok çeşitli antimikrobiyal bileşikler üretebilmektedirler [10]. Bu gibi özelliklerinden dolayı yoğurt; vücudun temel besin öğelerine olan ihtiyacı karşılaması, metabolik fonksiyonlara faydaları, hastalıklardan korunmada ve daha sağlıklı bir yaşama ulaşmada etkinlik gösteren gıdalar olan fonksiyonel gıdalar içerisinde sınıflandırılmaktadır [11].

Ülkemizde bu sağlık üzerine etkilerinin oluşması ve tüketicinin aldatılmasını engellemek amacı ile yoğurdu, Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği'ne göre fermentasyonda spesifik olarak *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*' un (en az 10^7 kob/g) simbiyotik kültürlerinin kullanıldığı fermente süt ürünü, olarak tanımlamış ve kalite özelliklerini belirlemiştir [12]. TÜİK 2017 raporuna göre; Türkiye'de bu standarda uygun olarak bir önceki yıla oranla %1,7 artışla 1.172 ton düzeyinde yoğurt üretimi ve kişi başına tüketimi ise 31 kg olarak gerçekleştiği bildirilmiştir [13]. Ancak bu verilere sanayi dışı üretim ve semt pazarlarında satılan yoğurt miktarı dahil edilmemektedir. Dahil edilmeyen yoğurt üretimi süt sektöründeki kalite kontrol uygulamalarına tabi tutulmadığından Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği'ne uygunluğu tam olarak bilinmemektedir. Aynı zamanda yoğurdun reolojik özelliklerinin oluşabilmesinin yanında sağlık üzerine olumlu etkilerini gösterebilmesi için yoğurt bakterileri arasında olması gereken 1:1 oranı sağlanması ve Kodeks Alimentarius'a göre 1ml'de en az 10^7 kob yoğurt bakterilerini içermesi gerekmektedir [14,15].

Bu anlamda çalışmamız, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı ve ülkemizin en fazla süt üreten illeri içerisinde yer alan Balıkesir'de yerel işletmeler ve çiftçiler tarafından üretilip semt pazarlarında satışı yapılan yoğurtların TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği'ne uygunluğu ve halk sağlığı üzerine mikrobiyal risklerini belirlemek amacı ile yapıldı.

2. Materyal metot

2.1. Örneklerin toplanması

Balıkesir'de kurulan 4 farklı semt pazarından her seferinde farklı satış noktasından olmak üzere 50 yoğurt örneği (orijinal ambalaj; 1kg'lık) Nisan-Haziran 2019 tarihleri arasında toplandı. Örnekler +4 °C'de laboratuvara getirilerek analize alındı.

2.2. Fiziksel ve kimyasal analizler

Örneklerde kurumadde, yağ, yağsız kurumadde ve titrasyon asitliği TS EN ISO 1330 (2006)'e göre [16], protein tayini Kjeldhal metodu ile TS EN ISO 8968-1'e göre [17] ve pH tayini HANNA HI 2211 cihazı (Germany) ile TS 3263 [18] yapıldı.

2.3. Mikrobiyolojik analizler

Küf ve/veya maya sayımı TS ISO 6611 [19], Koliform sayımı TS ISO 4831 [20], Koagülaz pozitif *Staphylococcus* sayımı TS ISO 6888 [21], *E. coli* sayımı ISO 11866-3 [22], standart metotlara göre yapıldı.

Yoğurt bakterileri olarak adlandırılan laktik asit bakteri sayımı (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus*) analizi TS ISO 9232 [23] standart metoda göre yapıldı.

Patojen mikroorganizmaların analizinde ise; *E. coli* 0157 ISO 16654 [24], *Salmonella* spp. ISO 6579 [25], *Listeria* spp. ve *Listeria monocytogenes* TS EN ISO 11290-1 [26] standart metoduna göre yapıldı.

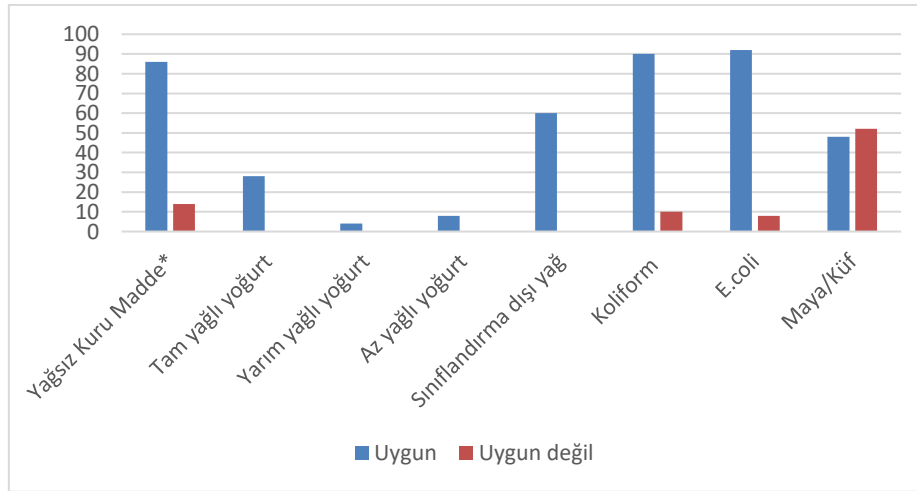
3. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada Balıkesir ilinde farklı semt pazarlarından alınan yoğurt örnekleri, fizikokimyasal ve mikrobiyolojik yönünden analiz edildi. Yoğurt örneklerine ait (n=50) kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de gösterildi.

Tablo 1. Yoğurt örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları.

	Min- Maks	Ortalama
Kurumadde	11.04- 18.55	15.15 ± 0.41
Yağsız kurumadde	8.94- 17.15	12.07 ± 0.34
Yağ	0.40- 5.60	3.06 ± 0.25
Protein	3.96- 4.40	4.11 ± 0.09
Titrasyon asitliği	1.01-1.80	1.31 ± 0.03
pH	3.74- 4.46	4.11 ± 0.03

Tablo 1’de görüldüğü gibi yağsız kuru madde, yağ, protein, titrasyon asitliği ve pH değerleri ortalama sırasıyla 12.07, 3.06, 4.11, 1.31 ve 4.11 olarak tespit edildi. Yoğurdun önemli besin öğelerini içerdiği yağsız kuru madde değeri önemli bir kalite parametresidir. Örneklerin yağsız kuru madde ortalama değerleri TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği (2001) referans değerleri ile karşılaştırıldı [27]. Yağsız kuru madde değerlerine göre örneklerin % 86’sının referans değere (en az %12) uygun, %14’ünün ise tebliğde yer alan referans değerin altında olduğu tespit edildi (Şekil 1).



Şekil 1. Yoğurt örneklerinin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik analiz sonuçlarının TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği’ne (2001*; 2009) uygunluğu (%).

Çalışmamıza benzer olarak Karahan [28] Batman'da üretilen yoğurtların %15'inin en az %12 yağsız kurumadde değerini karşılamadığını bildirmiştir. Biberoglu ve Ceylan [29] ise çalışmamızdan farklı olarak Erzurum ve Kars'ta üretilen yoğurtların %88'inin tebliğde yer alan referans değere uygun olmadığını rapor etmişlerdir. Bu durum çığ süt kuru maddesinin düşüklüğünden ya da yetersiz ısı ve zaman uygulamasından kaynaklanabilmektedir.

Yoğurtların kimyasal kalitesinin belirlenmesinde önemli parametrelerden biri de yağ oranıdır. TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği'nde [12] yoğurtlar içermiş oldukları yüzde yağ oranına göre tam yağlı yoğurt (süt yağı \geq % 3,8), yarım yağlı yoğurt (% 2 > süt yağı \geq %1,5) ve yağsız yoğurt (süt yağı \leq % 0,5) olmak üzere sınıflandırılmıştır. Tebliğdeki [12] referans değerlerle çalışmadaki örneklerin ortalama yağ değerleri karşılaştırıldığında, örneklerin tam yağlı yoğurt sınıfına yakın bir değerde olduğu tespit edildi. Ancak yoğurt örneklerindeki yağ oranları ayrı ayrı incelendiğinde %28'inin tam yağlı, %4'ünün yarım yağlı, %8'inin az yağlı ve %60'ının ise tam yağlı yoğurt sınıfına yakın olduğu görüldü. Bazı araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda [28-32] yoğurt örneklerinin tamamının TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği'nde yer alan yağ sınıflandırılmasına uygun olmadığını bildirmişlerdir. Yoğurt örneklerinin içerdikleri yağ oranına göre tam yağlı olarak sınıflandırılmaması süt hayvan yetiştiriciliğinde bakım, besleme şartları ile genetik yapının süt yağını etkilemesinden ileri gelmektedir. Az yağlı ve yağsız örneklerinde ise üreticinin yoğurt üretiminde kullanılan sütün yağını alması sonucunu doğurmaktadır. Bu durumda yoğurt ambalajlarının üzerinde bilgilendirici ifadenin yer almaması, tüketicinin aldatılmasına neden olmaktadır. Ayrıca yoğurt kıvamının iyileştirilmesinde rol oynayan yağın, aynı zamanda aynı miktarda karbonhidrat ve proteinle karşılaştırıldığında iki katı enerji sağlaması, tüketici içinde büyük önem taşımaktadır [33].

Eksojen aminoasit içeriği ve biyolojik değeri yüksek olan yoğurtta TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği'ne göre protein en az %3 olmalıdır [12]. Yoğurt örneklerinin tamamı protein oranı bakımından tebliğe uygunluk göstermektedir. Çalışmamıza benzer olarak yoğurttaki protein oranları ile ilgili yapılan çalışmalarda örneklerin de tebliğe uygun olduğu bildirilmiştir [28-32]. Bunun nedeni süt protein değerinde meydana gelen değişkenliğin yaklaşık %55'inin hayvanın genetik yapısından, %45'inin ise diğer faktörlerinden ve en önemlisi süt proteininin basit uygulamalarla üretici tarafından süttten ayrıştırılmaması ile açıklanabilir.

Titrasyon asitliği birincil olarak sütün bazı bileşenlerinden (kazein, fosfat, sitratlardan, albumin, globulin ve karbondioksitten) ileri gelmektedir [34]. Yoğurtta ise sütte bulunan mikroorganizmalar ile laktik asit bakterileri tarafından sütün fermentasyonu sırasında oluşan başta laktik asit ve diğer organik asitlerden kaynaklanmaktadır [35]. Asitlik, patojen bakterilerin üremesinin engellemesi ve kendine has aromasının gelişmesi ile yoğurda dayanıklılık kazandırmaktadır [36]. Buna bağlı olarak TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği'nde [12] yoğurdun titrasyon asitliği, laktik asit cinsinden %0,6-1,5 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada örneklerin ortalama titrasyon asitliği %1,31 oranında tespit edilmiş olup, tebliğe uygun olduğu görülmektedir. Çalışmamıza benzer olarak yoğurttaki titrasyon asitliği ile ilgili yapılan çalışmalarda [31-35] da örneklerin tebliğe uygun olduğu bildirilmiştir. Örneklerin tamamında titrasyon asitliğinin tebliğe uygunluğu, örneklerde kullanılan yoğurt bakterilerinin aktivasyonunu ve inkübasyon sıcaklığı ile zaman kombinasyonunun doğru yapıldığını göstermektedir.

Yoğurtta pH ile % asitlik arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Asitliği artıran faktörler pH'nın düşmesine neden olmaktadır. Bu faktörler arasında; çiğ sütte yabancı maddelerin varlığı, mayalama aşamasında laktik asit bakterilerinin aktivitesi, yoğurt bakterileri arasındaki oran (1/1), yoğurt inkübasyon sıcaklığı ile zaman kombinasyonu ve muhafaza sıcaklığının yüksek olması sayılabilir [37]. Bu faktörlerden meydana gelen aksaklıklar asitliğin az ya da fazla gelişmesine neden olabilir. TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği'nde [12] pH ile ilgili bir standart bulunmasa da genelde işletmelerde kazeinlerin izoelektrik noktasına (pH 4,6) düşmesi inkübasyonun sonlandırılması için gerekli olan değerdir. Çalışmamızda ise örneklerin ortalama pH değeri 4.11 ve ayrı ayrı incelediğinde 4'ünde pH'nın 4'ün altında olduğu tespit edildi. Çalışmamızda pH değerleri ile ilgili sonuçlar, geleneksel yoğurtlar ile yapılan çalışmaların [28,30,32] bulguları ile benzerlik göstermektedir. Örneklerdeki ortalama pH değerinin düşüklüğü, yoğurtların pazarlandığı semt pazarlarına nakliye ve satışa kadar geçen zaman aralığında uygun sıcaklıklarda muhafaza edilmediğini ($> 4^{\circ}\text{C}$) göstermektedir.

TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği'nde [12] yoğurdun hijyenik kalitesinin belirlenmesinde Koliform bakteriler, *E. coli*, Küf ve maya sayısı kriter olarak alınmaktadır. Yoğurt örneklerinde Koliform bakteri, *E. coli* ve maya/küf sayıları ortalama olarak sırasıyla 140 EMS /g, 112 EMS /g ve 3.47 log₁₀ kob/g olarak tespit edildi (Tablo 2).

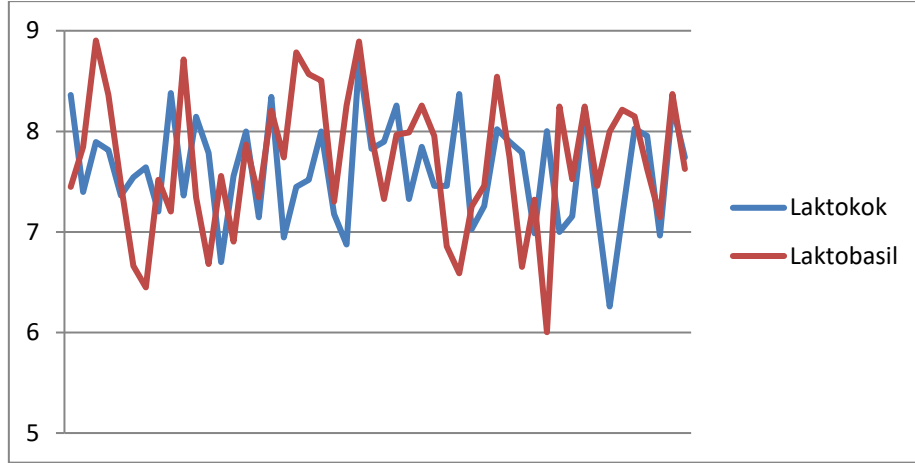
Tablo 2. Yoğurt örneklerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları.

	Koliform bakteri (EMS/g)	<i>E. coli</i> (EMS/g)	Maya/küf (log kob/g)
Minimum-Maksimum	75-290	43-150	2-5.47
Ortalama	140± 45	112± 30	3.47 ± 0.21

Yoğurt örneklerinin %10'unda Koliform bakteri (9-95 EMS/g), %8'inde *E. coli* (<3 EMS/g) ve % 52'sinde maya/küf sayısı (10^2 - 10^3 kob/g) tebliğde yer alan değerlerden daha yüksek oranda belirlendi. Küf ve mayalar yoğurtta asitliğin oluşumunu sağlayan laktik asidin bir kısmını kullanarak bozulmaya neden olan bakteriler için üreme ortamı oluşturmaktadır [37]. Yoğurt örneklerinde koliform, maya ve küf sayısının yüksekliği, yoğurt inkübasyonu sonrası ve paketleme sırasında bulaşmaların meydana geldiğini göstermektedir [38]. Bu durumda küçük veya büyük ölçekli yoğurt üreticisinin, mikroorganizma yükünü azaltacak, kaliteli ve sağlıklı yoğurdu yapmak için yeterli hijyen koşullarını sağlaması önerilmektedir.

Örneklerin Koliform bakteri, *E. coli* ve maya/küf sayısı yönünden tebliğe uygunluğuna göre değerlendirildiğinde Elmalı ve Yaman [39], Çetin ve ark. [32] tarafından elde edilen bulgulardan düşük, Demirkaya ve Ceylan [31]'a göre yüksek olduğu görülmektedir. Yoğurt örnekleri halk sağlığı açısından büyük risk oluşturan patojen mikroorganizmalar (*Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *S. aureus*) yönünden analiz edildi ve örneklerin hiçbirinde patojen mikroorganizma saptanamadı.

TGK Fermente Süt Ürünleri Tebliği'ne [12] göre ürünün reolojik yapısı ile beraber kendine has tat ve aromanın gelişebilmesinde önemli rol oynayan spesifik mikroorganizmaların sayısı (en az 10^7 kob/g) ve oranı (1/1) büyük önem arz etmektedir. Çalışmamızda laktokok ve laktobasil sayılarının ortalaması 7.89 ve 7.64 log kob/g aralığında tespit edildi (Şekil 2).



Şekil 2. Yoğurt örneklerinde laktokok ve laktobasil sayısı (log kob/g)

Ayrıca örneklerin tamamında spesifik mikroorganizma değerlerinin tebliğde geçen en az 10^7 log kob/g değerini ve oranını sağladığı saptandı.

Sonuç olarak bu çalışmada yoğurt örneklerinin fizikokimyasal bileşiminin (özellikle yağ içeriği) düşük olarak tespit edilmesi, üretimde kaliteli ham madde kullanılmadığını ve standart üretim metotların uygulanmadığını ve buna bağlı olarak semt pazarlarında gıda değeri düşük ürün satıldığı bir göstergesi olarak düşünülmektedir. Diğer yandan yoğurt örneklerinde patojen mikroorganizma tespit edilmemiş olsa da hijyen indikatörü mikroorganizmaların (Koliform bakteri, *E. coli* ve küf-maya sayısının) belirlenmesi, üretimde gerek ortam gerekse personel hijyen yetersizliği problemlerinin olduğu ve potansiyel halk sağlığı riskleri taşıyabilecekleri belirlendi.

Kaynaklar

- [1] Baysal, A., Yoğurt: küreselleşen Türk besini, Türk mutfak kültürü üzerine araştırmalar, **Türk Halk Kültürünü Araştırma ve Tanıtma Vakfı Yayınları**, 30, 1-8, Ankara, (2002).
- [2] Fisberg, M., Machado, R., History of yogurt and current patterns of consumption. **Nutrition Reviews**, 73,1, 4-7, (2015).
- [3] Kashgari, M., **Divan-Lugat at-Turk**, Tranlated by R. Dankoff with J. Kelley as A compendium of Turkish dialects. Vol 2. Cambridge, MA, Cambridge University Press, (1984).
- [4] Yusuf, K. H., **Wisdom of Royal Glory (Kutadgu Bilig)**, A Turko-Islamic mirror for princes, translated with an introduction and notes by Robert Dankoff, University of Chicago Press, Chicago, (1983).
- [5] Toygar, K., **Türk mutfak kültürü üzerine araştırmalar**, Türk mutfacı hakkında genel bilgiler, Ankara, 29, 137-144, (2001).
- [6] Halıcı, N., **Siniden tepsiye klasik Türk mutfacı**, Usaş Yayınları, İstanbul, (2009).
- [7] [Aryana, K. J., Olson, D. W., A 100-year review: yogurt and other cultured dairy products, **Journal of Dairy Science**, 100, 12, 9987-10013, (2017).
- [8] O'connell, J., Fox, P., Significance and applications of phenolic compounds in the production and quality of milk and dairy products: a review, **International Dairy Journal**, 11, 103-120, (2001).

- [9] Preedy, V. R., Srirajaskanthan, R., Patel, V., **Handbook of food fortification and health**, Humana Press, New York, (2013).
- [10] Holzapfel, W. H., Geisen, R., Schillinger, U., Biological preservation of foods with reference to protective cultures, bacteriocins and food-grade enzymes, **International Journal of Food Microbiology**, 24, 343-362, (1995).
- [11] Mattila-Sandholm, T., Saarela, M., **Functional dairy products**, CRC Press, Taylor and Francis, 395, (2003).
- [12] Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, **Türk gıda kodeksi fermente süt ürünleri tebliği**, Ankara, Türkiye, 25, (2009).
- [13] TUIK (Türkiye İstatistik Kurumu), https://ulusalsutkonseyi.org.tr/wp-content/uploads/Haber_Bulteni_haziran2017.pdf. (2017).
- [14] Moreno, A. L. A., Cervera, R. P., Ortega, A. R. M., et al., Scientific evidence about the role of yogurt and other fermented milks in the healthy diet for the Spanish population, **Nutrition Hospitalaria**, 28, 2039-2089, (2013).
- [15] Sezgin, E., **Yoğurt teknolojisi**, SEGEM, 103, Ankara, 120-108, (1981).
- [16] Yoğurt standardı. **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2006).
- [17] TS ISO 8968-1. Süt ve süt ürünleri-azot içeriği tayini-Bölüm 1: Kjeldahl prensibi ve ham protein hesaplanması. **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2014).
- [18] TS 3263 ISO10523 pH tayini. **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (1999).
- [19] TS ISO 6611. Süt ve süt ürünleri-küf ve/veya mayaların koloni oluşturan birimlerinin sayımı-25 °C'da koloni sayım tekniği. **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2015).
- [20] TS ISO 4831 Gıda ve hayvan yemleri mikrobiyolojisi- Koliformların tespiti ve sayımı için yatay yöntem- En muhtemel sayı tekniği. **Türk Standartları Enstitüsü** Ankara (2010).
- [21] TS ISO 6888-1, Microbiology of food and animal feeding stuffs-Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (*Staphylococcus aureus* and other species)- Part 1: Technique using Baird-Parker agar medium, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (1999).
- [22] TS ISO 11866-3, Milk and milk products-Enumeration of presumptive *Escherichia coli*- Part 3: Colony-count technique at 44 degrees C using membranes, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (1997).
- [23] TS ISO 9232, Yoğurt- Yoğurda özgü mikroorganizmaların (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus*) belirlenmesi, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2010).
- [24] TS ISO 16654, Gıda ve hayvan yemlerinin mikrobiyolojisi-Escherichia coli 0157'nin tespiti için yatay yöntem, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2003).
- [25] TS ISO 6579-1, Microbiology of food and animal feeding stuffs-Horizontal method for the detection of *Salmonella* spp. **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2003).
- [26] TS EN ISO 11290-1, *Listeria monocytogenes* ve *Listeria* spp.'nin aranması ve sayımı için yatay metod Bölüm 1, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2017).
- [27] Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, **Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği**, Ankara, Türkiye, 25, (2001).
- [28] Karahan, L. E., Batman'da tüketime sunulan yoğurtların bazı kimyasal ve tekstürel özellikleri, **Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi**, 6, 2, (2016).

- [29] Biberoglu, Ö., Ceylan, Z. G., Geleneksel olarak üretilen yoğurtların bazı kimyasal özellikleri, **Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi**, 8, 1, 43-51, (2013).
- [30] Bakırcı, İ., Tohma, G. Ş., Yüksel, A. K., Erzurum piyasasında satışa sunulan yoğurtların fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özelliklerinin incelenmesi, **Akademik Gıda**, 13, 2, 127-134, (2015).
- [31] Demirkaya, A. K., Ceylan, Z. G., Bilecik'te tüketime sunulan yoğurtların kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesinin araştırılması, **Ankara Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi**, 8, 3, 202-209, (2013).
- [32] Çetin, B., Atik, A., Karasu, S., Kırklareli'nde üretilen yoğurt ve ayranların fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kalitesi, **Akademik Gıda**, 12, 2, 57-60, (2014).
- [33] Igbabul, B., Shember, J. and Amove, J., Physicochemical, microbiological & sensory evaluation of yoghurt sold in Makurdi metropolis, **African Journal of Food Science & Technology**, 5, 6, 129-135, (2014).
- [34] Metin, M., **Süt teknolojisi**, Sütün Bileşimi ve İşlenmesi. E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, Bornova-İzmir, 33, 802, (2001).
- [35] Tamime, A., Robinson, R. K., **Yoghurt science and technology**, Pergamon Press Ltd., Oxford, U.K, 431, (1985).
- [36] De Oliveira M. N., **Fermented milks and yogurt**, São Paulo University, São Paulo, Brazil, Elsevier Ltd. by R.K. Robinson, 2, 784-791, (2014).
- [37] Agu, K. C., Archibong, E. J., Anekwe, D. C., Ago, C. A., Okafor, A. C., Awah, N. S., Assessment of bacteria present in yoghurt sold on Awka Metropolis, **Scholars Journal of Applied Medical Sciences**, 2, 6D, 3071-3075, (2014).
- [38] Matin, A., Banik, T., Badsha, M. R., Hossain, A., Haque, M. M. and Ahmad, M., Microbiological quality analysis of yoghurt in some selected areas of Bangladesh, **International Journal of Natural and Social Sciences**, 5, 4, 82-86, (2018).
- [39] Elmalı, M., Yaman, H., Microbiological quality of yoghurt consumed in Kars, **İstanbul Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi**, 31, 1, 19-24, (2005).

Semi-analytical investigation of modified Boussinesq-Burger equations

Sinan DENİZ*

Department of Mathematics, Faculty of Arts & Sciences, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 27.09.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.12.2019

Abstract

In this paper, a new analysis of nonlinear modified Boussinesq-Burger equation is revisited via optimal perturbation iteration technique. We first consider artificial parameters and perturbation theory and combine them to deal with nonlinear partial differential equations. After that, the recommended theory is employed to get new semi-analytical solutions of nonlinear partial differential equations. As will be seen from the results, this technique needs no discretization or linearization and can be directly applied to many nonlinear differential equations.

Keywords: *Optimal perturbation iteration techniques, nonlinear partial differential equations.*

Değiştirilmiş Boussinesq-Burger denklemlerinin yarı analitik incelemesi

Öz

Bu çalışmada değiştirilmiş Boussinesq-Burger denklemlerinin optimal perturbasyon iterasyon yöntemi ile yarı analitik incelemesi yapılmıştır. Öncelikle önerilen metodun inşası için yapay parametreler ve perturbasyon teorisi ele alınmış ve bunlar birleştirilerek lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemler için bir çözüm metodu geliştirilmiştir. Daha sonra ise elde edilen algoritmalar ile ele alınan problem yarı analitik olarak çözülmüştür. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere bu teknik birçok lineer olmayan diferansiyel denkleme herhangi bir lineerizasyon gerektirmeden rahatlıkla uygulanabilmektedir.

* Sinan DENİZ, sinan.deniz@cbu.edu.tr , <https://orcid.org/0000-0002-8884-3680>

Anahtar kelimeler Optimal perturbasyon iterasyon yöntemi, lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemler.

1. Introduction

The solitons and their equations are very prominent subjects in the field of engineering and mathematics. Over the last decades, many iterations have been made to analyze various nonlinear soliton equations. The exact analytical solutions of nonlinear wave equations help to understand the behavior and characteristics of nonlinear soliton equations. For this reason, seeking exact solutions of nonlinear wave equations is an important and interesting subject. Up to now, there have been many methods to solve these types of equations, such as Bäcklund transformation method [1], Adomian decomposition method [2], Darboux transformation method [3], Chebyshev spectral collocation method [4], tanh-coth method [5], Taylor collocation method [6], homogeneous balance method [7], variational iteration method [8]. Differential transform [9] and homotopy perturbation methods [10] are also very useful methods for solving ordinary and partial differential equations.

Over the last 5 years, there have been many attempts via many researchers for solving ODEs and PDEs. Among them, semi analytical techniques are much more considered as a direct solution to many types of ODEs and PDEs. One of them is optimal perturbation iteration method (OPIM) and it is used for handling many different and well-known nonlinear equations such as Bratu [11], delay [12], heat transfer [13] and Lane-Emden type equations [14]. This technique is also proved to be very efficient for nonlinear PDEs such as Burgers' [15], generalized regularized long wave equations [16]. Fractional differential equations can also be analyzed by using OPIM as in [17]. In those paper, one can see that, OPIM uses only algorithms for solving nonlinear equations. Fundamental idea is to decompose the equation in its nonlinear and linear part, then struggling with the nonlinear part by manipulating the artificial parameter and perturbation theory. After solving algorithm for the equations, we solve the algebraical equations arised from OPIAs. After obtaining the unknown parameters, we just substitute them to get the semi-analytical solutions. More information about techniques related on soliton equations can also be seen in [18-20]

The classical Boussinesq-Burger equations can be given as

$$\begin{aligned} u_t - \frac{1}{2}v_x + 2uu_x &= 0, \\ v_t - \frac{1}{2}u_{xxx} + 2(uv)_x &= 0, \quad 0 \leq x \leq 1, \end{aligned} \quad (1)$$

with the initial conditions

$$\begin{aligned} u(x, 0) &= \frac{ck}{2} + \frac{ck}{2} \tanh\left(\frac{-kx - \ln b}{2}\right), \\ v(x, 0) &= \frac{-k^2}{8} \operatorname{sech}^2\left(\frac{kx + \ln b}{2}\right). \end{aligned} \quad (2)$$

The exact solution of these equations can be given as [21]

$$u(x, t) = \frac{ck}{2} + \frac{ck}{2} \tanh\left(\frac{ck^2 t - kx - \ln b}{2}\right), \quad (3)$$

$$v(x, t) = \frac{-k^2}{8} \operatorname{sech}^2 \left(\frac{kx - ck^2t + \ln b}{2} \right). \quad (4)$$

The Boussinesq - Burger equations arise in the study of fluid flow and describe the propagation of shallow water waves. Here x and t respectively represent the normalized space and time, $u(x, t)$ is the horizontal velocity field and $v(x, t)$ denotes the height of the water surface above a horizontal level at the bottom [17]. In this paper, we will deal with the modified form of the above equations such as

$$\begin{aligned} u_t - \frac{1}{2}v_x + 2uu_x + u &= 0, \\ v_t - \frac{1}{2}u_{xxx} + 2(uv)_x + v &= 0, \quad 0 \leq x \leq 1, \end{aligned} \quad (5)$$

with the initial conditions

$$\begin{aligned} u(x, 0) &= \frac{ck}{2} + \frac{ck}{2} \tanh \left(\frac{-kx^2 + x - \ln b}{2} \right), \\ v(x, 0) &= \frac{-k^2}{8} \operatorname{sech}^2 \left(\frac{kx^2 + \ln b}{2} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

2. OPIM algorithms for general optimal nonlinear differential equations

In order to perform OPIM for the aforementioned equations, one can follow the steps below.

First, the Eqs. (1) can be taken as:

$$F_1(u_x, u_t, v_x, \varepsilon) = u_t - \frac{1}{2}v_x + 2\varepsilon uu_x + u = 0, \quad (7)$$

$$F_2(u_{xxx}, u_x, v_t, v_x, \varepsilon) = v_t - \frac{1}{2}u_{xxx} + 2\varepsilon(uv)_x + v = 0 \quad (8)$$

where ε is the perturbation parameter. Without processing whole of the system, we can give the following general procedure. All F in (5) will be split up as

$$F = S + R. \quad (9)$$

We do this decomposition for the sake of more comfortable computations. First part of the equation (9) is easier part of the problem. One can readily solve that part. Additionally, R second part and one need to solve this part to obtain a new algorithm for the problems. Now, we use the theory of perturbation theory. Taking the straightforward expansion of perturbation series, one can write the following equality

$$u_{n+1} = u_n + \varepsilon(u_c)_n. \quad (10)$$

Here $(u_c)_n$ is a correction term and can be found by solving the first order OPIA problem. Now using the equation (10) - (7) and (8) we can get the OPIM algorithms. Replacing those equations and expanding them in a series, we have

$$R_1 + R_{1u_t}((u_c)_n)_t\varepsilon + R_{1v_x}((v_c)_n)_x\varepsilon + R_{1u_x}((u_c)_n)_x\varepsilon + R_{1\varepsilon}\varepsilon = -S_1, \quad (11)$$

$$R_2 + R_{2u_t}((u_c)_n)_t \varepsilon + R_{2v_x}((v_c)_n)_x \varepsilon + R_{2u_x}((u_c)_n)_x \varepsilon + R_{2\varepsilon} \varepsilon = -S_2. \quad (12)$$

Note that all computations are at $\varepsilon = 0$. Doing the mandatory computations for the (3), one can have

$$((u_c)_n)_t = \left(\frac{1}{2}v_n\right)_x - 2(u_n)_x(u_n) + (u_n), \quad (13)$$

$$((v_c)_n)_t = \left(\frac{1}{2}u_n\right)_x - 2((uv)_n)_x + (v_n). \quad (14)$$

The above expressions are called as OPIAs for the modified Boussinesq-Burger equations. After finding those OPIAs, we can begin to iterate with selecting appropriate u_0 and v_0 (initial functions). There is no general theorem for those functions, and they can be elected by using ICs. By solving the algorithm (13) - (14), the first correction terms are obtained. However, generally first order approximations are not good enough for most of the problems. Therefore, we need to iterate more. Besides that, solutions can be healed by using the following parameters:

$$\begin{aligned} u_{n+1} &= u_n + P_n(u_c)_n \\ v_{n+1} &= v_n + P_n(v_c)_n \end{aligned} \quad (15)$$

P_0, P_1, P_2, \dots can be seen as convergence-control constants. By using those parameters, we can easily control the convergence of the solutions. Generalizing with $n = 0, 1, \dots$, we get

$$\begin{aligned} u_1 &= u(x, t; P_0) = u_0 + P_0(u_c)_0 \\ v_1 &= v(x, t; P_0, P_1) = v_1 + P_1(v_c)_1 \\ &\vdots \\ u_m(x, t; P_0, \dots, P_{m-1}) &= u_{m-1} + P_{m-1}(u_c)_{m-1} \\ v_m(x, t; P_0, \dots, P_{m-1}) &= v_{m-1} + P_{m-1}(v_c)_{m-1} \end{aligned} \quad (16)$$

After substituting u_m, v_m into the Eq. (6), the whole problem will be:

$$\begin{aligned} Re_1(x, t; P_0, \dots, P_{m-1}) &= F_1(u_x, u_t, v_x, \varepsilon), \\ Re_2(x, t; P_0, \dots, P_{m-1}) &= F_2(u_{xxx}, u_x, v_t, v_x, \varepsilon) \end{aligned} \quad (17)$$

Apparently, when $Re_{1,2}(x, t; P_0, \dots, P_{m-1}) = 0$ we say that $u_m(x, t; P_0, \dots, P_{m-1})$ and $v_m(x, t; P_0, \dots, P_{m-1})$ are the exact analytical solutions for the problem. But we do not usually encounter such a situation especially for nonlinear ODEs and PDEs. Besides that, we can try to minimize the following:

$$J(P_0, \dots, P_{m-1}) = \int_0^T \int_a^b Re_i^2(x, t; P_0, \dots, P_{m-1}) dx dt. \quad (18)$$

Here a, b, T are chosen from the physical domain of the problem. Lastly, P_0, P_1, \dots are found optimally by implementing many types of different techniques. Mostly used of them are collocation or the method of least squares. After finding P_0, P_1, \dots and placing them into the Eq. (17), the OPIM approximate solution of order m can be easily obtained. For much more detailed data, we refer readers to [11-14].

3. Illustration

In this section, we try to show the effectiveness of the proposed method. To do this we will solve NPDE with initial conditions

$$u_0 = \frac{-1}{2} - \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{x^2+x}{2}\right), \tag{19}$$

$$v_0 = \frac{-1}{8} \operatorname{sech}^2\left(\frac{-x}{2}\right). \tag{20}$$

Then progressing as mentioned in the previous section, one can reach the following second order approximate OPIM solutions

$$u_2 = \frac{-1}{2} - \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{x^2+x}{2}\right) - 6P_0 t \operatorname{coth}\left(\frac{x^2+x}{2}\right) - \left(2t \cosh\left[\frac{x^2+x}{2}\right] - t \cosh\left[\frac{x^2+x}{2}\right] P_0 - 2t^2 \sinh[x^2+x] P_0\right) P_1, \tag{21}$$

$$v_2 = \frac{-1}{8} \operatorname{sech}^2\left(\frac{-x^2+x}{2}\right) - 2P_0 t \sinh x - \left(4t \sinh\left[\frac{x^2+x}{2}\right] - 3t^2 \cosh\left[\frac{x}{2}\right] P_0 - 3t^2 \sinh[x^2+x] P_0\right) P_1 \tag{22}$$

and more of them can be reached by iterating. To get convergence-control parameters, we need to compute the residuals of both of the solutions. Putting $a = 0, b = 1, T = 10$ for the Eq. (18) and solving the equality

$$\frac{\partial J}{\partial P_0} = \frac{\partial J}{\partial P_1} = \frac{\partial J}{\partial P_2} = \dots = 0$$

we will get $P_0 = 1.80256, P_1 = 1.99044$ and $P_2 = -1.90033$. Substituting these constants into the corresponding approximate solutions, we have the third order OPIM solutions. Figure 1 and Figure 2 give absolute errors for approximate results in the 9th and 10th order solutions.

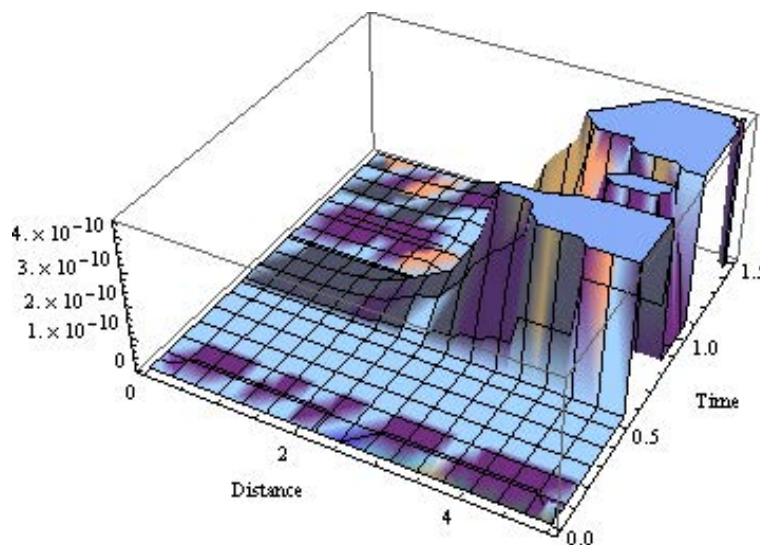


Figure1. Absolute residual errors for ninth order OPIM solution.

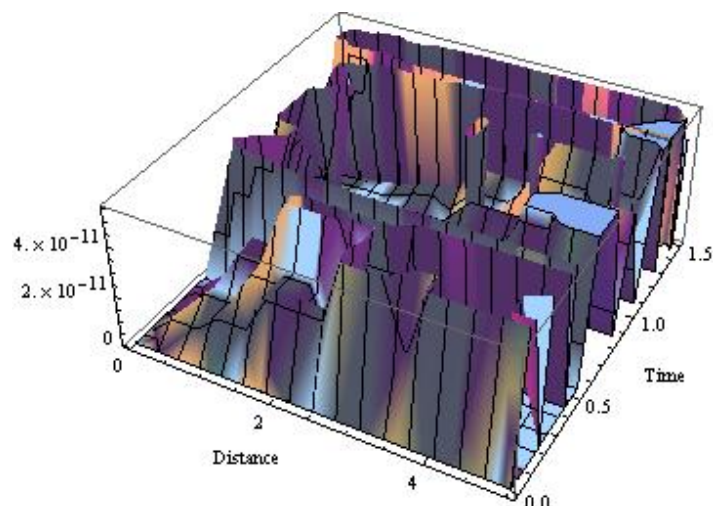


Figure 2. Absolute residual errors for tenth order OPIM solution.

4. Conclusion

In this research, the nonlinear modified Boussinesq-Burger have been studied with the aid of newly proposed optimal perturbation iteration method. Like in many other papers stated in the introduction part, OPIM results are efficient for NPDEs. The graphics of absolute errors are sketched by using the numerical solutions in order to approve he efficiency of the proposed scheme. As can be seen from those figures, absolute errors are not too much for higher order approximations. So, one can deduce that OPIM provides a simple way to control the convergence region for strong nonlinearity problem like Boussinesq-Burger equations.

References

- [1] Wadati, M., Heiji, S. and Kimiaki K., Relationships among inverse method, Bäcklund transformation and an infinite number of conservation laws, **Progress of Theoretical Physics**, 53(2), 419-436, (1975).
- [2] Bildik, N. and Deniz, S., Modified Adomian decomposition method for solving Riccati differential equations, **Review of the Air Force Academy**, 3(30), 21-26, (2015).
- [3] Boling, G., Liming, L. and Liu, Q., Nonlinear Schrödinger equation: generalized Darboux transformation and rogue wave solutions, **Physical Review E**, 85(2), 026607, (2012).
- [4] Mohamed, M. and Saad, K., A numerical study by using the Chebyshev collocation method for a problem of biological invasion: Fractional Fisher equation, **International Journal of Biomathematics**, 11(8), 1850099, (2018).
- [5] Wazwaz, A.M., Multiple-soliton solutions for the KP equation by Hirota's bilinear method and by the tanh-coth method, **Applied Mathematics and Computation**, 190(1), 633-640, (2007).
- [6] Bildik, N. and Deniz, S., Applications of Taylor collocation method and Lambert W function to the systems of delay differential equations, **Turkish Journal of Mathematics and Computer Sciences** 1(1), 1-13, (2013).

- [7] Engui, F. and Zhang, H., A note on the homogeneous balance method, **Physics Letters A**, 246(5), 403-406, (1998).
- [8] Bildik, N. and Deniz, S., Comparison of solutions of systems of delay differential equations using Taylor collocation method, Lambert W function and variational iteration method, **Scientia Iranica. Transaction D, Computer Science & Engineering and Electrical Engineering**, 22(3),1052-1058, (2015).
- [9] Sarp, Ü., Evirgen, F. and İkkardeş, S., Applications of differential transformation method to solve systems of ordinary and partial differential equations. **Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 20(2), 135-156, (2018).
- [10] Evirgen, F. and Özdemir, N., A fractional order dynamical trajectory approach for optimization problem with HPM, **Fractional Dynamics and Control, Springer, New York**, 145-155, (2012).
- [11] Deniz, S. and Bildik, N. Optimal perturbation iteration method for Bratu-type problems, **Journal of King Saud University-Science**, 30(1), 91-99, (2018).
- [12] Bildik, N. and Deniz, S., A new efficient method for solving delay differential equations and a comparison with other methods, **The European Physical Journal Plus**, 132(1), 51, (2017).
- [13] Deniz, S., Optimal perturbation iteration method for solving nonlinear heat transfer equations, **Journal of Heat Transfer-ASME**, 139(37), 074503-1, (2017).
- [14] Deniz, S. and Bildik, N., A new analytical technique for solving Lane - Emden type equations arising in astrophysics, **Bulletin of the Belgian Mathematical Society – Simon Stevin**, 24(2), 305-320, (2017).
- [15] Bildik, N. and Deniz, S., Solving the Burgers' and regularized long wave equations using the new perturbation iteration technique, **Numerical Methods for Partial Differential Equations**, 34(5), 1489-1501, (2018).
- [16] Bildik, N. and Deniz, S., New analytic approximate solutions to the generalized regularized long wave equations, **Bulletin of the Korean Mathematical Society**, 55(3), 749-762, (2018).
- [17] Bildik, N. and Deniz, S., A new fractional analysis on the polluted lakes system, **Chaos, Solitons & Fractals**, 122, 17-24, (2019).
- [18] Eskitaşçioğlu, E., Aktaş, M. and Baskonus H.M., New complex and hyperbolic forms for Ablowitz–Kaup–Newell–Segur wave equation with fourth order, **Applied Mathematics and Nonlinear Sciences**, 4(1), 105-112, (2019).
- [19] Yel, G., Baskonus, H.M., and Bulut, H., Regarding some novel exponential travelling wave solutions to the Wu–Zhang system arising in nonlinear water wave model, **Indian Journal of Physics**, 93,8, 1031-1039, (2019).
- [20] Baskonus, H.M., Complex soliton solutions to the Gilson–Pickering model, **Axioms**, 8(1), 18, (2019).
- [21] Ebadi, G., Envelope solitons, periodic waves and other solutions to Boussinesq-Burgers equation, **Romanian Reports in Physics**, 64(4), 915-932, (2012).

EN AW-5754 ve EN AW-5083 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmelerinde kullanılan farklı takım geometrilerinin kaynaklı birleştirmeye etkilerinin araştırılması

Fatmagül TOLUN*

Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir MYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 30.10.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 02.01.2020

Öz

Sürtünme karıştırma kaynağı 1990'lı yılların başlarında ilk kez keşfedilmiştir. O yıllardan günümüze değin endüstride pek çok alanda kullanılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı, aynı veya farklı özellikteki malzemelerin, ergitme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda birleştirilmesinde kullanılan, bir katı hal kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi sırasında kullanılan takımlar kaynaklı birleştirmenin metalurjik ve mekanik özelliklerini büyük oranda etkilemektedir. Takımların karıştırıcı uç geometrilerinin kaynaklı birleştirmenin dayanımında önemli ölçüde etkisi bulunmaktadır. Bu çalışmada da, EN AW-5754 ve EN AW-5083 alüminyum alaşımları, 450 d/dak devir sayısında, 50 mm/dak ilerleme hızında 0 derecelik omuz açısıyla, vidalı, konik ve silindirik karıştırıcı uçlu takımlarla, sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Kaynak işlemi sonrasında numunelere, çekme testleri ve mikrosertlik testleri yapılarak kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaynaklı numunelerin optik mikroskop görüntüleri alınarak metalurjik yapıları incelenmiştir. Kaynaklı numunelere yapılan çekme testi sonuçlarına göre, en iyi kaynak dayanımını; 188,76 MPa lık kaynak mukavemeti ile vidalı karıştırıcı uçla yapılan kaynaklı birleştirmeler göstermiştir. Ayrıca, mikro sertlik ve mikro yapı incelemeleri de bu sonucu desteklemektedir.

Anahtar kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, alüminyum alaşımları, takım geometrisi.

* Fatmagül TOLUN, ftolun@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-7784-9115>

Investigation of the effects of different tool geometries on welded joining of EN AW-5754 and EN AW-5083 aluminum alloys with friction stir welding

Abstract

Friction stir welding was first discovered in the early 1990s. It has been used in many fields in the industry since then. Friction stir welding is a solid state welding method used for joining materials of the same or different properties at temperatures below the melting temperature. The tools used during the welding process greatly affect the metallurgical and mechanical properties of the welded joint. The stir tip geometries of the tools have a significant effect on the strenght of the welded joint. In this study, EN AW- 5754 and EN AW- 5083 aluminum alloys are joined with friction stir welding with screw stir tip, taper stir tip and cylindrical stir tip tools at 450 rpm traverse speed, 50 mm / min progress speed, 0 degrees shoulder angle. After the welding process, mechanical properties of welded joints were examined by tensile tests and microhardness tests. Metallurgical structures of welded samples were examined by optical microscope images. According to the tensile test results of welded samples, welded joints with screw stir tip showed the best weld strength with a welding strength of 188.76 MPa. In addition, microhardness and microstructure tests support this result.

Keywords: *Friction stir welding, aluminum alloys, tool geometry.*

1. Giriş

Alüminyum alaşımları yoğunluklarının düşük olması, mukavemetlerinin yüksek olması, kolay şekillendirilebilmeleri, korozyon dirençlerinin iyi olması, dış şartlara karşı dirençli olmaları ve geri dönüşümlerinin kolay olması nedeniyle günümüzde endüstride pek çok alanda kullanılmaktadırlar. 5000 serisi alüminyum alaşımları; asıl alaşım elementi magnezyum olan Al-Mg alaşımlarıdır. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet değerleri artmakta ve süneklik değerleri azalmaktadır. Bu alaşımlara ısı işlem uygulanamaz. Bu çalışmada kullanılan EN AW- 5754 ve EN AW- 5083 Al alaşımları, özellikle deniz suyu ve kimyasallara karşı yüksek korozyon dirençleri nedeniyle gemi ve inşaa sanayinde, kimya sanayinde, otomotiv sanayinde ve basınçlı kapların yapımında tek başlarına veya bir arada yaygın olarak kullanılmaktadırlar [1,2]. Alüminyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde, çatlak ve porozite oluşumu problemleri görülmektedir. Ayrıca; kaynak sonrası sertlik ve mukavemet değerlerinde düşüş meydana gelmektedir. 1990'lı yılların başlarında, The Welding Institute (TWI) tarafından İngiltere'de geliştirilen ve patenti alınan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile yapılan birleştirmelerde bu problemlerin giderilebildiği görülmektedir. Alüminyum ve alaşımlarının SKK ile yapılan birleştirmelerinde; yüksek mukavemet değerleri, ideal bir kaynak profili ve daha pürüzsüz bir yüzey kalitesi görülmektedir [3,4,5,6].

Hafiflikleri, korozyon dirençleri ve yüksek mukavemet değerleri nedeniyle havacılık ve uzay endüstrisinde ve otomotiv endüstrisinde tercih edilen Al alaşımları gibi; Mg alaşımlarının, Ti alaşımlarının, kompozit malzemelerin ve polimer malzemelerin de;

ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilmelerinde problemlerle karşılaşmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin birleştirilmesinde de, SKK yöntemi kullanılmaktadır [7-14]. Bir katı hal kaynağı olan sürtünme karıştırma kaynağının, otomasyon kolaylığı, kısa kaynak süresi ve minimum yüzey hazırlama gibi pek çok avantajı bulunmaktadır. Bu yöntemle yapılan kaynaklı birleştirmelerde herhangi bir koruyucu gaz, ilave bir kaynak metali ya da kaynak ağız açılmasına gerek bulunmamaktadır [15-18].

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında; Boz ve Kurt [19] yaptıkları araştırmada Al ve alaşımlarının SKK işleminde farklı karıştırıcı uç profillerinin kaynaklı yapının mekanik özelliklerine ve mikro yapıları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Tozaki ve arkadaşları [20] çalışmalarında, Al ve alaşımlarının sürtünme karıştırma nokta kaynağında farklı takım geometrilerinin kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerini ve mikro yapısını etkilediğini tespit etmişlerdir. Choi ve arkadaşları [21] araştırmalarında Al alaşımlarının sürtünme karıştırma nokta kaynağında, takım geometrisinin kaynaklı yapının mekanik özelliklerine etkilerini belirlemişlerdir. Yadava ve arkadaşları [22] yaptıkları çalışmada, takım ucu profilinin, Al alaşımlarının SKK işlemi sırasında malzeme akışını ve kaynak sonrası kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını etkilediğini ortaya koymuşlardır. Bahrami ve arkadaşları [23] çalışmalarında; AA7075/SiC kompozit malzemenin SKK işleminde takım geometrisinin mekanik özellikler ve mikroyapı üzerine etkilerini saptamışlardır. Singh ve arkadaşları [24] yürüttükleri araştırmada Al alaşımlarının SKK sırasında farklı takım profillerinin kaynaklı birleştirmede görülen kusurlar üzerine etkilerini ele almışlar ve hatasız bir birleştirme için uygun takım profilini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada; EN AW-5754 ve EN AW-5083 alüminyum levhalar vidalı, konik ve silindirik karıştırıcı uçlu üç farklı profildeki takımla, sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Çalışmada; kaynak işlemleri sırasında omuz açısı, ilerleme hızı ve devir sayıları sabit tutularak, farklı karıştırıcı uç profillerinin; kaynaklı yapının mekanik özellikleri ve mikro yapı değişimleri üzerine etkilerinin tespit edilmesi ve bu çalışmaya en uygun takım profilinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve metot

2.1. Deneylerde kullanılan malzemeler

Bu çalışmada ana malzeme olarak EN AW 5754 ve EN AW-5083 serisi 4 mm kalınlığındaki Al alaşımı levhalar kullanılmıştır. Tablo 1’de EN AW 5754 ve EN AW-5083 Al alaşımlarının kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 1. Alüminyum malzemelerin kimyasal bileşimleri.

Element	Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Ti	Cr	Zn
EN AW-5754	0,093	0,191	0,164	2,774	0,003	0,007	0,004	0,007
EN AW-5083	0,112	0,318	0,535	4,783	0,073	0,012	0,062	0,128

Çalışmada kullanılan EN AW 5754 ve EN AW-5083 Al alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

2.3. SKK deneyi

Bu çalışmada EN AW 5754 ve EN AW-5083 Al levhalar SKK metoduyla alın altına kaynak işlemi ile birleştirilmişlerdir. Kaynaklı birleştirmeler, literatür taraması sonucunda saptanan ve SKK'da mikroyapı ve mekanik davranışları üzerinde önemli etkiye sahip olan sabit devir sayısı ve ilerleme hızlarında, üç farklı pin profiline sahip takım seçilerek gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi oda sıcaklığında üniversal freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de kaynak işleminde kullanılan freze tezgahı verilmiştir.



Şekil 3. Üniversal freze tezgahı.

4mmx100mmx150 mm boyutlarındaki deney numunelerinin tüm yüzeyleri kaynak işleminden önce freze tezgahında işlenerek düzeltilip çapakları alınmıştır. Daha sonra saf alkol ile kaynak yüzeyleri silinmiştir. Kaynak öncesi hazırlıkları tamamlanan numuneler alın altına getirilerek bağlama pabuçları ile tezgaha sıkıca sabitlenmişlerdir. Karıştırıcı uç ilerleme yönüne literatüre uygun olarak daha sert bir Al alaşımı olan Al 5083, ters yöne ise Al 5754 yerleştirilmiştir. Kaynak işlemleri 450 d/dak devir sayısında, 50 mm/dak ilerleme hızında, 60 sn bekleme süresinde, 0 derecelik omuz açısıyla ve takım dönme yönü saat yönünde seçilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan takımların uç profilleri haricindeki diğer geometrik özellikleri aynıdır. Şekil 4'de kaynaklı numunelere ait yüzey resimleri yer almaktadır.

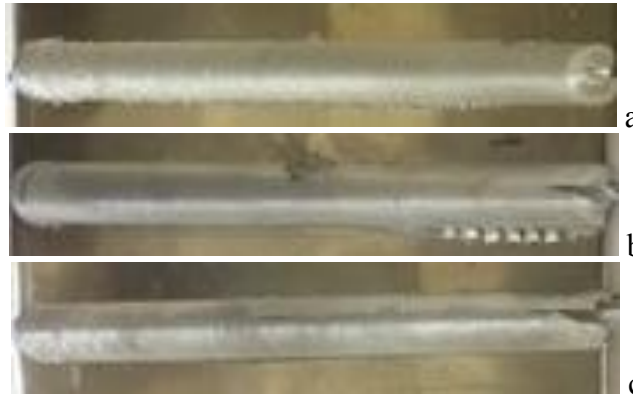
Çalışmada, kaynaklı numunelerin optik mikroskop görüntüleri alınarak metalurjik yapıları incelenmiştir. Optik mikroskop görüntüleme için polyster kalıba alınan numuneler, zımparalama işlemine tabi tutulup, elmas pasta ile parlatılarak, Poulton ayraç (50 ml poulton çözeltisi + 25 ml konsantre HNO₃ + 40 ml kromik asit çözeltisi) ile dağlanmıştır.

SKK işlemi sonrasında numunelere Zwick Roel marka çekme testi cihazında oda sıcaklığında çekme testleri yapılmıştır.

SKK ile birleştirilen parçaların sertlik değerleri Shimadzu HVM marka mikro sertlik test cihazında, Vickers ölçeğinde (HV0.1) kaynak yüzeyinde kaynak dikiş yönüne dik bir hat boyunca ölçülmüştür. Ölçüm yükü 0,1 kg ve ölçümlerde bekleme süresi 5 sn'dir.

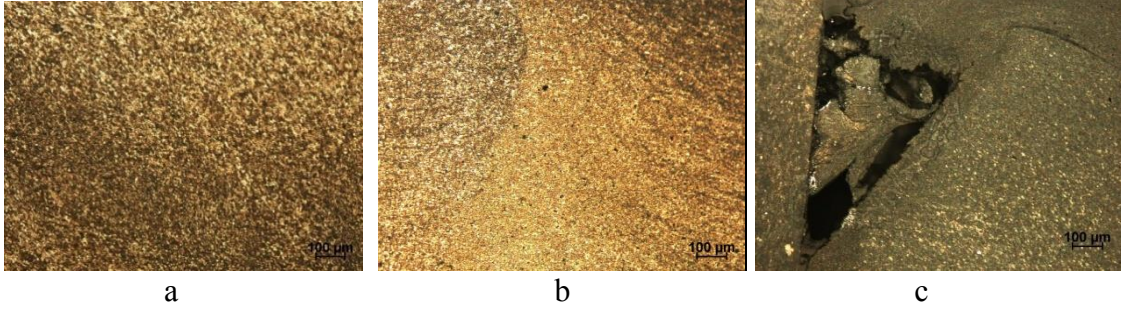
3. Bulgular ve tartışma

Şekil 4’de verilen SKK ile birleştirilen numunelere ait kaynak yüzeyleri verilmektedir. Yüzeyler incelendiğinde vidalı ve konik karıştırıcı uçla birleştirilmiş olan kaynaklı numunelerin görüntülerinde herhangi çatlak veya gözeneğin olmadığı, dikiş yüzey pürüzlülüklerinin düzgün ve birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Silindirik karıştırıcı uçla birleştirilmiş numunelerin görüntülerinde ise kaynak dikişinde boşluklar ve yüzeyde pürüzlülükler dikkati çekmektedir. Makro görüntülerden elde edilen sonuçlar ile çekme testinden elde edilen sonuçlar birbirlerini destekler niteliktedir. Benzer şekilde literatürde yapılan çalışmalarda da kaynak hatalarının çekme mukavemet değerlerini olumsuz yönde etkilediği ifade edilmektedir [9].



Şekil 4. Kaynaklı numunelere ait yüzey resimleri: a. Vidalı karıştırıcı uç b. Konik karıştırıcı uç c. Silindirik karıştırıcı uç.

SKK işlemi sırasında yoğun plastik deformasyon ve maruz kalınan yüksek sıcaklık, karıştırma bölgesinde yeniden kristalleşmeye ve karıştırma bölgesinin etrafında çökeltilerin çözülmesine ve kabalaşmasına neden olur[7]. Böylece kaynak bölgesinde oluşan içyapı, dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB), termomekanik olarak etkilenen bölge (TEB) ve ısı etkisi altındaki bölge (IEB) olarak üçe ayrılmaktadır. Bu bölgelerin boyutu ve şekli; seçilen kaynak parametrelerine bağlı olduğu gibi karıştırıcı uç geometrisine de bağlıdır. Bu nedenle tercih edilen uç geometrisinin kaynaklı yapının mekanik davranışları üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Farklı geometrilere yapılan birleştirmelerde kaynak bölgesi optik mikroskop görüntüleri Şekil 5’te sunulmuştur. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde; SKK ile birleştirilen numunelerin kaynak dikiş bölgesinde küçük taneli bir yapı görülmektedir. En düşük kaynak dayanımı değerini veren silindirik geometrilili karıştırıcı uçla birleştirilen kaynak numunesinde, kaynak bölgesinde Al 5754 tarafında boşluk (porozite) görülmektedir. Bu kusurlar kaynak dayanımını düşürmektedir. Bunun nedeni karıştırıcı uç tasarımındaki hatalardan kaynaklanmaktadır. Vidalı ve konik uçla yapılan SKK işleminde ucun karıştırılan malzemeye temas alanı, silindirik uca göre daha fazladır. Dolayısıyla SKK işleminde ucun karıştırma yüzey alanı arttıkça, kaynak mukavemeti de artmaktadır. Artan sıcaklıkla viskoz haldeki malzemede karıştırıcı uç yardımı ile ekstrüzyon derecesi artmaktadır. Bu sebeple kaynak dikişi bölgesinde şiddetli ekstrüzyon sonucu tane küçülmesi ve pekleşmenin etkin olduğu bir yapı ortaya çıkmaktadır [3,6,15].



Şekil 5. Optik mikroskop görüntüleri: a. Vidalı karıştırıcı uç b. Konik karıştırıcı uç c. Silindirik karıştırıcı uç.

Şekil 6’da vida karıştırıcı uçla birleştirilen numunenin kaynak bölgesinden alınan mikroyapı görüntüsü görülmektedir. Şekil incelendiğinde ince taneli yapıya sahip DKB bölgesi ile uzayan ve yönlendirilen tanelerden oluşan TEB bölgesi birbirinden çizgi halinde ayrılmaktadır. Her iki bölgede oluşan tane yapıları uç profil geometrilerinin etkisi ile farklılıklar göstermektedir. Kaynak esnasında oluşan deformasyon ve ekstrüzyon şiddeti, bütün kaynaklı bağlantıların DKB’inde tanelerin küçülmesine neden olurken, TEB bölgesinde ise DKB de oluşan ekstrüzyonun neden olduğu yüksek sıcaklık; bu bölgedeki tanelerin irileşerek deforme olmasına ve yassılaştırılmasına neden olmaktadır.



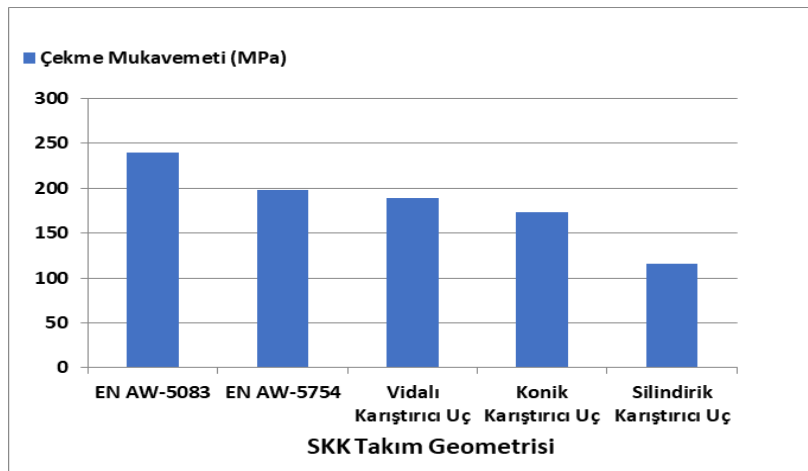
Şekil 6. Vidalı karıştırıcı uçla birleştirilen numuneye ait optik mikroskop görüntüsü.

Şekil 7’de konik karıştırıcı uçla birleştirilen numunenin kaynak bölgesinden alınan mikroyapı görüntüsü görülmektedir. DKB ile TEB birbirinden net olarak ayrılmaktadır. Görüntüde konik geometrili karıştırıcı uç ile birleştirilen numunenin DKB bölgesinde, uçtaki dönme hareketinden kaynaklandığı düşünülen halkalar görülmektedir. Bu halkalara soğan halkaları adı verilir[25]. Konik uçlu kaynaklı birleştirmenin DKB bölgesinin yanında yer alan TEB bölgesinde maruz kaldığı yüksek sıcaklık ve plastik deformasyonun etkisiyle tane yapılarında irileşme ve yönlendirmeler meydana gelmektedir. Bu yönlendirilmiş taneler, DKB bölgesinin hemen yanında deformasyon bandı olarak şekilde görülmektedir.



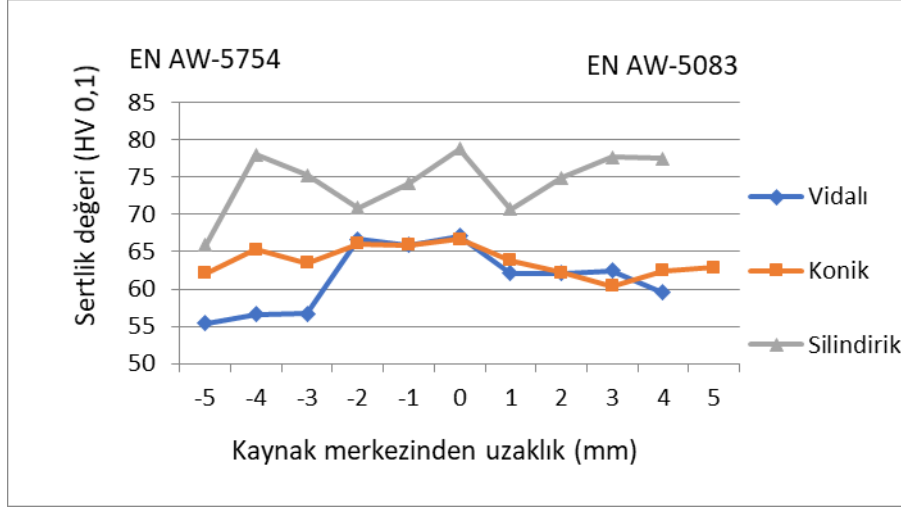
Şekil 7. Konik karıştırıcı uçla birleştirilen numuneye ait optik mikroskop görüntüsü.

IEB kaynaklı malzemenin en zayıf ve en az sertliğe sahip bölgesidir. Bu bölge sıcaklığa maruz kaldığı için, çökelti partikülleri büyümeye devam eder ve aşırı yaşlanma ya da kabalaşma gösterir bu nedenle partiküller arasındaki mesafe artar dolayısıyla da dislokasyonlar bu bölgede hiçbir engelle çarpmadan kolaylıkla ilerleyerek mukavemeti düşürürler. Uygulanılan çekme testlerinde kopma hep bu bölgede gerçekleşmiştir. İncelenilen daha önce yapılmış çalışmalarda da çekme test sonuçlarında aynı bölgede kopma olduğu görülmüştür[26-28]. Çekme testi sonuçlarına göre, vidalı karıştırıcı uçla kaynaklanan çekme numuneleri en yüksek çekme mukavemetini (188,76 MPa) göstermişlerdir. Silindirik karıştırıcı uçla birleştirilen çekme numuneleri ise, en düşük çekme mukavemetini (115,59 MPa) göstermişlerdir. Bu değerler tüm numuneler içerisindeki en düşük çekme mukavemet değerleri olup bu düşük çekme mukavemet değerleri kaynak dikişinde meydana gelen kaynak hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir[9]. Çekme testlerinde tüm numunelerde kırılmalar daha düşük mekanik özelliklere sahip Al 5754 tarafında ve IEB’de tek taraflı boyun vererek meydana gelmiştir. Takım karıştırıcı uç profilinin kaynak mukavemeti üzerine etkisi Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6. Takım karıştırıcı uç profilinin kaynak mukavemeti üzerine etkisi.

Şekil 7’de kaynak bölgesinden alınmış mikrosertlik değerleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, tüm numunelerde kaynak merkez sertliğinin esas malzeme sertliğinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin; AA5XXX Al alaşımlarının SKK işlemi sırasında kaynak bölgesinde ortaya çıkan $Al_x(Fe,Mn)_ySi_z$, $Al_x(Fe,Mn)$ ve Mg_xSi intermetalik fazlarından kaynaklandığı düşünülmektedir[6,29]. Özellikle silindirik karıştırıcı uçla yapılan deney numunelerinde sertlik değerinin yüksek olması, bu numunelerin çekme dayanımını önemli ölçüde düşürmektedir.



Şekil 7. Numunelere ait sertlik değerleri.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. EN AW-5754 ve EN AW-5083 alüminyum alaşımları başarılı bir şekilde SKK yöntemi ile birleştirilebilmektedir.
2. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde; vidalı ve konik karıştırıcı uçla birleştirilen numunelerde kaynak bölgesinde düzgün bir karışım görülmektedir. Silindirik karıştırıcı uçla birleştirilen numunede, kaynak bölgesinde boşluklar görülmektedir. Bu boşluklar kaynak dayanımını düşürmektedir.
3. En yüksek kaynak dayanımı (188,76 MPa) vidalı karıştırıcı uçla birleştirilen numunelerde, en düşük kaynak dayanımı (115,59MPa) ise silindirik karıştırıcı uçla birleştirilen numunelerde görülmektedir.
4. Tüm numunelerde kaynak merkez sertliğinin esas malzeme sertliğinden daha yüksektir. Bunun sebebinin AA5XXX Al alaşımlarının SKK işlemi sırasında kaynak bölgesinde ortaya çıkan $Al_x(Fe,Mn)_ySi_z$, $Al_x(Fe,Mn)$ ve Mg_xSi intermetalik fazlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.
5. Mikrosertlik değerleri uç geometrisine göre değişmektedir. Tüm numunelerde kaynak dikişi sertliğinin esas malzeme sertliğinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle silindirik karıştırıcı uçla birleştirilen deney numunelerinde sertlik değerinin yüksek olması, bu numunelerin çekme dayanımını önemli ölçüde düşürmektedir.
6. Yapılan incelemeler sonucunda, EN AW 5754 ve EN AW-5083 alüminyum alaşımlarının SKK ile birleştirilmesinde vidalı karıştırıcı uç geometriyi önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Aydınlar Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Türker, E., Alüminyum ve alaşımlarının dökümünde rafınasyon yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, (2005).
- [2] Johansen, H.G., Structural aluminium materials. **TALAT Lecture 2202**, European Aluminium Association, (2005).
- [3] Çam, G., Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK): Al alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak teknolojisi, **Mühendis ve Makine**, 46, 541, 40-51, (2005).
- [4] Hwang, Y.M., Fan, P.L ve Lin, C.H., Experimental study on friction stir welding of copper metals, **Journal of Materials Processing Technology**, 210, 1667-1672, (2010).
- [5] Muthu, M.F.X. ve Jayabalan, V., Tool travel speed effects on the microstructure of friction stir welded aluminum–copper joints, **Journal of Materials Processing Technology**, 217, 105-113, (2015).
- [6] Gürel Çam, Selçuk Mıstıkoğlu, Recent developments in friction stir welding of al-alloys, **Journal of Materials Engineering and Performance**, 23, 6, 1936-1953, (2014).
- [7] Dalkılıç, S., Sürtünme karıştırma kaynağı ve havacılık ve uzay endüstrisindeki uygulama alanları, **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, 5, 25-33, (2012).
- [8] Şık, A., Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen alüminyum levhalarının eğme ve yorulma özelliklerinin incelenmesi, **SAÜ Fen Bilimleri Dergisi**, 9,2, 12-17, (2005).
- [9] Başar, G. ve Mıstıkoğlu, S., Kaynak parametrelerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birbirine kaynaklanmış Cu/Al-1050 mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, **El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi**, 4, 2, 282-290, (2017).
- [10] Mohammadi, J., Behnamian, Y., Mostafaei, A., Izadi, H., Saeid, T., Kokabi, A.H. ve Gerlich, A.P., Friction stir welding joint of dissimilar materials between AZ31B magnesium and 6061 aluminum alloys: Microstructure studies and mechanical characterizations, **Materials Characterization**, 101, 189–207, (2015).
- [11] Sharma, H.K., Bhatt, K., Shah, K. Ve Joshid, U., Experimental analysis of friction stir welding of dissimilar alloys AA6061 and Mg az31 using circular butt joint geometry, **3rd International Conference on Innovations in Automation and Mechatronics Engineering, ICIAME**, India, 566-572 (2016).
- [12] Padhy, G.K., Wu. ve C.S. Gao,S., Friction stir based welding and processing technologies - processes,parameters, microstructures and applications: A review, **Journal of Materials Science & Technology**, 34, 1–38, (2018).
- [13] Gangwar, K. ve Ramulu, M., Friction stir welding of titanium alloys: A review, **Materials and Design**, 141, 230–255, (2018).
- [14] Kumar, R., Singha, R., Ahujab, I.P.S., Pennac, R. ve Feo, L., Weldability of thermoplastic materials for friction stir welding- A state of art review and future applications, **Composites Part B**, 137,1–15, (2018).
- [15] Başak, H., Kayır, H. ve Türkyılmaz, E.H., Sürtünme karıştırma kaynağında farklı karıştırma uç formlarının oluşturduğu kuvvetlerin ve birleşmeye etkisinin

- deneysel incelenmesi, **El-Cezerî Journal of Science and Engineering**, 4, 2, 249-257, (2017).
- [16] Ranjan, R., Khan, A.R., Parikh, C., Jain, R., Mahto, R.P., Pal, P., Pal, S.K. ve Chakravarty, D., Classification and identification of surface defects in friction stir welding: An image processing approach, **Journal of Manufacturing Processes**, 22, 237–253, (2016).
- [17] Bayazid, S.M., Farhangi, H. ve Ghahramani, A., Investigation of friction stir welding parameters of 6063-7075 aluminum alloys by taguchi method, **Procedia Materials Science**, 11, 6 – 11, (2015).
- [18] Arıcı, A.A. ve Ertürk, A.T., Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen polietilen levhalarda kaynak bölgesi özelliklerinin belirlenmesi, **8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bidiri Kitabı**, İstanbul, 490-497, (2007).
- [19] Boz, M. ve Kurt, A., The influence of stirrer geometry on bonding and mechanical properties in friction stir welding process, **Materials & Design**, 25-4, 343–347, (2004).
- [20] Tozaki, Y., Uematsu Y. ve Tokaji, K., Effect of tool geometry on microstructure and static strength in friction stir spot welded aluminium alloys, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 47,15, 2230-2236, (2007).
- [21] Choi, D.H., Ahn, B.W., Lee, C.Y., Yeon, Y.M., Song, K. ve Jung, S.B., Effect of pin shapes on joint characteristics of friction stir spot welded AA5J32 sheet, **Materials Transactions**, 51,5, 1028–1032, (2010).
- [22] Yadava, M.K., Mishra, R.S., Chen, Y.L., Carlson, B. Ve Grant, G.J., Study of friction stir welding of thin aluminium sheets in lap joint configuration, **Journal Science and Technology of Welding and Joining**, 15, 1, 70–75, (2010).
- [23] Bahrami, M., Givi, M.K.B., Dehghani, K. ve Parvin, N., On the role of pin geometry in microstructure and mechanical properties of AA7075/SiC nanocomposite fabricated by friction stir welding technique, **Materials & Design**, 53, 519-527, (2014).
- [24] Singh, A., Kumar, V. ve Grover, N.K., Influence of tool pin profiles on friction stir welding with a gap for AA6082-T6 aluminium alloy, **Materials Research Express**, 6, 8, (2019).
- [25] Lee, W. B., Yeon, Y. M. ve Jung, S. B., Evaluation of the microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6005 aluminum alloy, **Materials Science and Technology**, 19, 513-518, (2003).
- [26] Kafalı, H., ve Ay, N., Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş havacılık ve uzay yapılarında kullanılan Al 6013-T6 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, 7, 2, 85-101, (2014)
- [27] Elangovan, K. ve Balasubramanian, V., “Influences of post-weld heat treatment on tensile properties of friction stir-welded AA6061 aluminium alloy joints,” **Materials Characterization**, 59, 9, 1168-1177, (2008).
- [28] Şık, A., KAyabaş, Ö., Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan alüminyum kaynağında kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin incelenmesi, **Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi**, 11, 12, 30-43, (2003).
- [29] Attallah, M.M., Davies, C.L. ve Strangwood, M., Influence of base metal microstructure on microstructural development in aluminium based alloy friction stir welds, **Science and Technology of Welding and Joining**, 12, p 361–369, (2007).

On third-order fuzzy differential equations by fuzzy Laplace transform

Hülya GÜLTEKİN ÇİTİL*

Giresun University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Giresun, Turkey.

Geliş Tarihi (Received Date): 25.10.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.12.2019

Abstract

In this study, third-order fuzzy differential equations are studied using fuzzy Laplace transform under the approach of Hukuhara differentiability. Examples are solved. Graphics of the solutions are drawn. Conclusions are given.

Keywords: Fuzzy differential equation, fuzzy initial value problem, Hukuhara differentiability, fuzzy Laplace transform.

Fuzzy Laplace dönüşümüyle üçüncü-mertebe fuzzy diferansiyel denklemler üzerine

Öz

Bu çalışmada, Hukuhara diferansiyellenebilirlik yaklaşımı altında fuzzy Laplace dönüşümü kullanarak üçüncü-mertebe fuzzy diferansiyel denklemler çalışıldı. Örnekler çözüldü. Çözümlerin grafikleri çizildi. Sonuçlar verildi.

Anahtar kelimeler: Fuzzy diferansiyel denklem, fuzzy başlangıç değer problem, Hukuhara diferansiyellenebilirlik, fuzzy Laplace dönüşüm.

1. Introduction

In recent years, theory of fuzzy differential equations has been rapidly growing. In many papers, solutions of fuzzy differential equation were studied by many different approaches [1-6]. Fuzzy initial or boundary value problems are solved by the fuzzy Laplace transform method. This method is practically important method. Because,

* Hülya GÜLTEKİN ÇİTİL, hülya.citil@giresun.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3543-033X>

problems are solved directly by fuzzy Laplace transform. Thus, many researchers used fuzzy Laplace transform in papers to solve fuzzy differential equations [7-11].

The aim of this work is to research solutions third-order fuzzy differential equations by fuzzy Laplace transform under the Hukuhara differentiability.

This paper is organized as follows:

In section 2, main definitions and theorems are given. In section 3, problems are defined and solved by fuzzy Laplace transform. Then, examples are given. In last section, conclusions are presented.

2. Main definitions and theorems

Definition 2.1. [12] A fuzzy number is a function $u: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ satisfying the following properties:

1. u is normal,
2. u is convex fuzzy set,
3. u is upper semi-continuous on \mathbb{R} ,
4. $cl\{x \in \mathbb{R} | u(x) > 0\}$ is compact, where cl denotes the closure of a subset.

Let \mathbb{R}_F be the space of fuzzy numbers.

Definition 2.2. [12] Let be $u \in \mathbb{R}_F$. The α -level set of u is $[u]^\alpha = \{x \in \mathbb{R} | u(x) \geq \alpha\}$, $0 < \alpha \leq 1$.

If $\alpha = 0$, the support of u is defined as $[u]^0 = cl\{x \in \mathbb{R} | u(x) > 0\}$.

Definition 2.3. [10] A fuzzy number u in parametric form is a pair $[\underline{u}_\alpha, \bar{u}_\alpha]$ of functions $\underline{u}_\alpha, \bar{u}_\alpha$, $0 \leq \alpha \leq 1$, which satisfy the following requirements:

1. \underline{u}_α is bounded non-decreasing left-continuous in $(0,1]$, right-continuous at $\alpha = 0$.
2. \bar{u}_α is bounded non-increasing left-continuous in $(0,1]$, right-continuous at $\alpha = 0$.
3. $\underline{u}_\alpha \leq \bar{u}_\alpha$, $0 \leq \alpha \leq 1$.

Definition 2.4. [12] If A is a symmetric triangular number with support $[\underline{a}, \bar{a}]$, the α -level set of A is $[A]^\alpha = \left[\underline{a} + \left(\frac{\bar{a}-\underline{a}}{2} \right) \alpha, \bar{a} - \left(\frac{\bar{a}-\underline{a}}{2} \right) \alpha \right]$.

Definition 2.5. [6] Let be $u, v \in \mathbb{R}_F$. If there exists $w \in \mathbb{R}_F$ such that $u = v + w$ then w is called the H-difference of u and v and it is denoted $u \ominus v$.

Definition 2.6. [8] Let $f: (a, b) \rightarrow \mathbb{R}_F$ and $t_0 \in (a, b)$. If there exists $f'(t_0) \in \mathbb{R}_F$ such that for all $h > 0$ sufficiently small, $\exists f(t_0 + h) \ominus f(t_0)$, $f(t_0) \ominus f(t_0 - h)$ and the limits holds

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t_0 + h) \ominus f(t_0)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t_0) \ominus f(t_0 - h)}{h} = f'(t_0),$$

f is Hukuhara differentiable at t_0 .

Definition 2.7. [8] Let $f: (a, b) \rightarrow \mathbb{R}_F$ and $t_0 \in (a, b)$. If there exists $f'(t_0) \in \mathbb{R}_F$ such that for all $h > 0$ sufficiently small, $\exists f(t_0 + h) \ominus f(t_0)$, $f(t_0) \ominus f(t_0 - h)$ and the limits holds

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t_0 + h) \ominus f(t_0)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t_0) \ominus f(t_0 - h)}{h} = f'(t_0),$$

f is (1)-differentiable at t_0 . If there exists $f'(t_0) \in \mathbb{R}_F$ such that for all $h > 0$ sufficiently small, $\exists f(t_0) \ominus f(t_0 + h)$, $f(t_0 - h) \ominus f(t_0)$ and the limits holds

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t_0) \ominus f(t_0 + h)}{-h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t_0 - h) \ominus f(t_0)}{-h} = f'(t_0),$$

f is (2)-differentiable.

Definition 2.8. [10] The fuzzy Laplace transform of fuzzy function f is

$$F(s) = L(f(t)) = \int_0^\infty e^{-st} f(t) dt = \left[\lim_{\rho \rightarrow \infty} \int_0^\rho e^{-st} \underline{f}(t) dt, \lim_{\rho \rightarrow \infty} \int_0^\rho e^{-st} \bar{f}(t) dt \right].$$

$$F(s, \alpha) = L([f(t)]^\alpha) = \left[L(\underline{f}_\alpha(t)), L(\bar{f}_\alpha(t)) \right],$$

$$L(\underline{f}_\alpha(t)) = \int_0^\infty e^{-st} \underline{f}_\alpha(t) dt = \lim_{\rho \rightarrow \infty} \int_0^\rho e^{-st} \underline{f}_\alpha(t) dt,$$

$$L(\bar{f}_\alpha(t)) = \int_0^\infty e^{-st} \bar{f}_\alpha(t) dt = \lim_{\rho \rightarrow \infty} \int_0^\rho e^{-st} \bar{f}_\alpha(t) dt.$$

Theorem 2.1. [7] Let $f'(t)$ be an integrable fuzzy function and $f(t)$ is primitive of $f'(t)$ on $(0, \infty]$. Then,

$$L(f'(t)) = sL(f(t)) \ominus f(0),$$

where f is (1)-differentiable or

$$L(f'(t)) = (-f(0)) \ominus (-sL(f(t))),$$

where f is (2)-differentiable.

Theorem 2.2. [11] Suppose that $f(t)$, $f'(t)$ and $f''(t)$ are continuous fuzzy-valued functions on $(0, \infty]$ and of exponential order and $f'''(t)$ is piecewise continuous fuzzy-valued function on $(0, \infty]$ with $f(t) = [\underline{f}(t, \alpha), \bar{f}(t, \alpha)]$, then

$$L(f'''(t)) = s^3L(f(t)) \ominus s^2f(0) \ominus sf'(0) \ominus f''(0).$$

3. Findings and Results

We study solutions of fuzzy initial value problems

$$u''' + \lambda u' = 0, \quad x > 0 \tag{1}$$

$$u(0) = [\beta]^\alpha, \quad u'(0) = [\gamma]^\alpha, \quad u''(0) = [\delta]^\alpha \tag{2}$$

and

$$u''' - \lambda u' = 0, \quad x > 0 \tag{3}$$

$$u(0) = [\beta]^\alpha, \quad u'(0) = [\gamma]^\alpha, \quad u''(0) = [\delta]^\alpha \tag{4}$$

by fuzzy Laplace transform under the Hukuhara differentiability, where $[\beta]^\alpha = [\underline{\beta}_\alpha, \bar{\beta}_\alpha]$, $[\gamma]^\alpha = [\underline{\gamma}_\alpha, \bar{\gamma}_\alpha]$, $[\delta]^\alpha = [\underline{\delta}_\alpha, \bar{\delta}_\alpha]$ are symmetric triangular fuzzy numbers, $\lambda > 0$ and Laplace transform of fuzzy function $u(x)$ is $L(u(x)) = U(s)$.

I) Consider the fuzzy problem (1)-(2). Using fuzzy Laplace transform to fuzzy differential equation (1),

$$s^3 U(s) \ominus s^2 u(0) \ominus s u'(0) \ominus u''(0) + \lambda (s U(s) \ominus u(0)) = 0 \tag{5}$$

is obtained. Using Hukuhara difference and fuzzy arithmetic, we have equations

$$s^3 \underline{U}_\alpha(s) - s^2 \underline{u}_\alpha(0) - s \underline{u}'_\alpha(0) - \underline{u}''_\alpha(0) + \lambda s \underline{U}_\alpha(s) - \lambda \underline{u}_\alpha(0) = 0, \tag{6}$$

$$s^3 \bar{U}_\alpha(s) - s^2 \bar{u}_\alpha(0) - s \bar{u}'_\alpha(0) - \bar{u}''_\alpha(0) + \lambda s \bar{U}_\alpha(s) - \lambda \bar{u}_\alpha(0) = 0. \tag{7}$$

Using initial conditions (2),

$$\underline{U}_\alpha(s) = \frac{\beta_\alpha}{s} + \frac{\gamma_\alpha}{s^2 + \lambda} + \frac{\delta_\alpha}{s(s^2 + \lambda)}, \tag{8}$$

$$\bar{U}_\alpha(s) = \frac{\bar{\beta}_\alpha}{s} + \frac{\bar{\gamma}_\alpha}{s^2 + \lambda} + \frac{\bar{\delta}_\alpha}{s(s^2 + \lambda)}. \tag{9}$$

Taking inverse Laplace transform, lower and upper solutions of fuzzy initial value problem (1)-(2) are obtained as

$$\underline{u}_\alpha(x) = \underline{\beta}_\alpha + \frac{\underline{\gamma}_\alpha}{\sqrt{\lambda}} \sin(\sqrt{\lambda}x) + \frac{\underline{\delta}_\alpha}{\lambda} (1 - \cos(\sqrt{\lambda}x)), \tag{10}$$

$$\bar{u}_\alpha(x) = \bar{\beta}_\alpha + \frac{\bar{\gamma}_\alpha}{\sqrt{\lambda}} \sin(\sqrt{\lambda}x) + \frac{\bar{\delta}_\alpha}{\lambda} (1 - \cos(\sqrt{\lambda}x)). \tag{11}$$

Example 3.1. Consider fuzzy initial value problem

$$u''' + u' = 0, \tag{12}$$

$$u(0) = [0]^\alpha, \quad u'(0) = [1]^\alpha, \quad u''(0) = [2]^\alpha, \tag{13}$$

where $[0]^\alpha = [-1 + \alpha, 1 - \alpha]$, $[1]^\alpha = [\alpha, 2 - \alpha]$, $[2]^\alpha = [1 + \alpha, 3 - \alpha]$.

Using the fuzzy Laplace transform, fuzzy solution is

$$\underline{u}_\alpha(x) = (-1 + \alpha) + \alpha \sin(x) + (1 + \alpha)(1 - \cos(x)), \tag{14}$$

$$\underline{u}_\alpha(x) = (1 - \alpha) + (2 - \alpha)\sin(x) + (3 - \alpha)(1 - \cos(x)), \tag{15}$$

$$[u(x)]^\alpha = [\underline{u}_\alpha(x), \bar{u}_\alpha(x)]. \tag{16}$$

If $\frac{\partial \underline{u}_\alpha(x)}{\partial \alpha} \geq 0$, $\frac{\partial \bar{u}_\alpha(x)}{\partial \alpha} \leq 0$, $\underline{u}_\alpha(x) \leq \bar{u}_\alpha(x)$, $[u(x)]^\alpha$ is a valid α –level set. Then, it must be $2 + \sin(x) - \cos(x) \geq 0$.

According to Figure 1, $[u(x)]^\alpha$ is a valid α –level set. Also, since

$$\underline{u}_1(x) = \sin(x) + 2(1 - \cos(x)) = \bar{u}_1(x), \tag{17}$$

$$\underline{u}_1(x) - \underline{u}_\alpha(x) = (1 - \alpha)(2 + \sin(x) - \cos(x)) = \bar{u}_\alpha(x) - \bar{u}_1(x), \tag{18}$$

$[u(x)]^\alpha$ is a symmetric triangular fuzzy function.

According to Figure 2, we can see that $[u(x)]^\alpha$ is a valid fuzzy level set and symmetric fuzzy function.

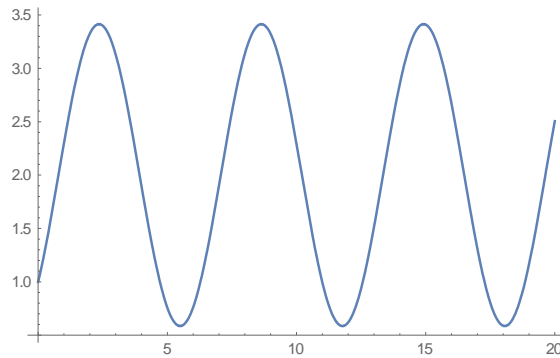


Figure 1. The graphic of the function $f(x) = 2 + \sin(x) - \cos(x)$.

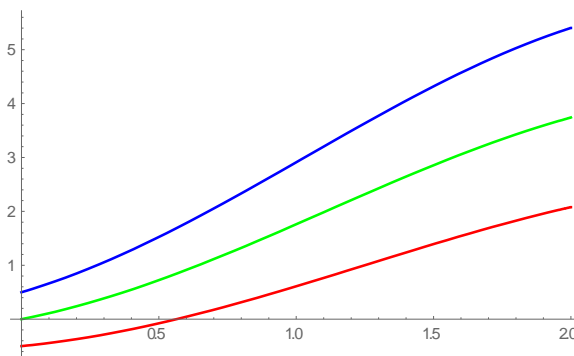


Figure 2. The graphic of $[u(x)]^\alpha$ for $\alpha = 0.5$.
 red $\rightarrow \underline{u}_\alpha(x)$, blue $\rightarrow \bar{u}_\alpha(x)$, green $\rightarrow \underline{u}_1(x) = \bar{u}_1(x)$.

II) Consider the fuzzy problem (3)-(4). Using fuzzy Laplace transform to fuzzy differential equation (3),

$$s^3U(s) \ominus s^2u(0) \ominus su'(0) \ominus u''(0) - \lambda(sU(s) \ominus u(0)) = 0 \tag{19}$$

is obtained. Using Hukuhara difference and fuzzy arithmetic, we have equations

$$s^3\underline{U}_\alpha(s) - s^2\underline{u}_\alpha(0) - s\underline{u}'_\alpha(0) - \underline{u}''_\alpha(0) - \lambda\underline{U}_\alpha(s) + \lambda\underline{u}_\alpha(0) = 0, \tag{20}$$

$$s^3\overline{U}_\alpha(s) - s^2\overline{u}_\alpha(0) - s\overline{u}'_\alpha(0) - \overline{u}''_\alpha(0) - \lambda\overline{U}_\alpha(s) + \lambda\overline{u}_\alpha(0) = 0. \tag{21}$$

Using initial conditions (4),

$$s^2\underline{U}_\alpha(s) - \lambda\underline{U}_\alpha(s) = s\underline{\beta}_\alpha + \underline{\gamma}_\alpha + \frac{(\underline{\delta}_\alpha - \lambda\underline{\beta}_\alpha)}{s}, \tag{22}$$

$$s^2\overline{U}_\alpha(s) - \lambda\overline{U}_\alpha(s) = s\overline{\beta}_\alpha + \overline{\gamma}_\alpha + \frac{(\overline{\delta}_\alpha - \lambda\overline{\beta}_\alpha)}{s}. \tag{23}$$

Substituting $\overline{U}_\alpha(s)$ in the equation (22) by the equation (23) and making the necessary operations,

$$\underline{U}_\alpha(s) = \frac{s^3\underline{\beta}_\alpha}{s^4 - \lambda^2} + \frac{s^2\underline{\gamma}_\alpha}{s^4 - \lambda^2} + \frac{s\underline{\delta}_\alpha}{s^4 - \lambda^2} + \frac{\lambda\underline{\gamma}_\alpha}{s^4 - \lambda^2} + \frac{\lambda(\overline{\delta}_\alpha - \lambda\underline{\beta}_\alpha)}{s(s^4 - \lambda^2)} \tag{24}$$

is obtained. Taking inverse Laplace transform, lower solution of fuzzy initial value problem (3)-(4) is obtained as

$$\begin{aligned} \underline{u}_\alpha(x) = & \frac{\underline{\beta}_\alpha}{2} \left(\frac{e^{\sqrt{\lambda}x} + e^{-\sqrt{\lambda}x}}{2} + \cos(\sqrt{\lambda}x) \right) + \frac{\underline{\gamma}_\alpha}{2\sqrt{\lambda}} \left(\frac{e^{\sqrt{\lambda}x} - e^{-\sqrt{\lambda}x}}{2} + \sin(\sqrt{\lambda}x) \right) \\ & + \frac{\underline{\delta}_\alpha}{2\sqrt{\lambda}} \left(\frac{e^{\sqrt{\lambda}x} + e^{-\sqrt{\lambda}x}}{2} - \cos(\sqrt{\lambda}x) \right) + \frac{\overline{\gamma}_\alpha}{2\sqrt{\lambda}} \left(\frac{-e^{\sqrt{\lambda}x} + e^{-\sqrt{\lambda}x}}{2} + \cos(\sqrt{\lambda}x) \right) \\ & + \frac{(\overline{\delta}_\alpha - \lambda\underline{\beta}_\alpha)}{\lambda} \left(-1 + \frac{e^{\sqrt{\lambda}x} + e^{-\sqrt{\lambda}x}}{4} + \frac{\sin(\sqrt{\lambda}x)}{2} \right). \end{aligned} \tag{25}$$

Similarly, upper solution of fuzzy initial value problem (3)-(4) is obtained as

$$\begin{aligned} \overline{u}_\alpha(x) = & \frac{\overline{\beta}_\alpha}{2} \left(\frac{e^{\sqrt{\lambda}x} + e^{-\sqrt{\lambda}x}}{2} + \cos(\sqrt{\lambda}x) \right) + \frac{\overline{\gamma}_\alpha}{2\sqrt{\lambda}} \left(\frac{e^{\sqrt{\lambda}x} - e^{-\sqrt{\lambda}x}}{2} + \sin(\sqrt{\lambda}x) \right) \\ & + \frac{\overline{\delta}_\alpha}{2\sqrt{\lambda}} \left(\frac{e^{\sqrt{\lambda}x} + e^{-\sqrt{\lambda}x}}{2} - \cos(\sqrt{\lambda}x) \right) + \frac{\underline{\gamma}_\alpha}{2\sqrt{\lambda}} \left(\frac{-e^{\sqrt{\lambda}x} + e^{-\sqrt{\lambda}x}}{2} + \cos(\sqrt{\lambda}x) \right) \\ & + \frac{(\underline{\delta}_\alpha - \lambda\overline{\beta}_\alpha)}{\lambda} \left(-1 + \frac{e^{\sqrt{\lambda}x} + e^{-\sqrt{\lambda}x}}{4} + \frac{\sin(\sqrt{\lambda}x)}{2} \right). \end{aligned} \tag{26}$$

Example 3.2. Consider fuzzy initial value problem

$$u''' - u' = 0, \tag{27}$$

$$u(0) = [0]^\alpha, u'(0) = [1]^\alpha, u''(0) = [2]^\alpha, \tag{28}$$

where $[0]^\alpha = [-1 + \alpha, 1 - \alpha]$, $[1]^\alpha = [\alpha, 2 - \alpha]$, $[2]^\alpha = [1 + \alpha, 3 - \alpha]$.

Using the fuzzy Laplace transform, fuzzy solution is

$$\begin{aligned} \underline{u}_\alpha(x) &= \frac{(-1+\alpha)}{2} \left(\frac{e^x+e^{-x}}{2} + \cos(x) \right) + \frac{\alpha}{2} \left(\frac{e^x-e^{-x}}{2} + \sin(x) \right) \\ &+ \frac{(1+\alpha)}{2} \left(\frac{e^x+e^{-x}}{2} - \cos(x) \right) + \frac{(2-\alpha)}{2} \left(\frac{-e^x+e^{-x}}{2} + \cos(x) \right) \\ &+ (4 - 2\alpha) \left(-1 + \frac{e^x+e^{-x}}{4} + \frac{\sin(x)}{2} \right), \end{aligned} \tag{29}$$

$$\begin{aligned} \bar{u}_\alpha(x) &= \frac{(1-\alpha)}{2} \left(\frac{e^x+e^{-x}}{2} + \cos(x) \right) + \frac{(2-\alpha)}{2} \left(\frac{e^x-e^{-x}}{2} + \sin(x) \right) \\ &+ \frac{(3-\alpha)}{2} \left(\frac{e^x+e^{-x}}{2} - \cos(x) \right) + \frac{\alpha}{2} \left(\frac{-e^x+e^{-x}}{2} + \cos(x) \right) \\ &+ 2\alpha \left(-1 + \frac{e^x+e^{-x}}{4} + \frac{\sin(x)}{2} \right), \end{aligned} \tag{30}$$

$$[u(x)]^\alpha = [\underline{u}_\alpha(x), \bar{u}_\alpha(x)]. \tag{31}$$

If $\frac{\partial \underline{u}_\alpha(x)}{\partial \alpha} \geq 0$, $\frac{\partial \bar{u}_\alpha(x)}{\partial \alpha} \leq 0$, $\underline{u}_\alpha(x) \leq \bar{u}_\alpha(x)$, $[u(x)]^\alpha$ is a valid α –level set. Then, it must be $4 + e^x - e^{-x} - (\sin(x) + \cos(x)) \geq 0$.

According to Figure 3, $[u(x)]^\alpha$ is a valid α –level set. Also, since

$$\begin{aligned} \underline{u}_1(x) &= e^x + e^{-x} + \frac{3}{2}(\sin(x) - \cos(x)) - 2 = \bar{u}_1(x), \\ \underline{u}_1(x) - \underline{u}_\alpha(x) &= (1 - \alpha) \left(\frac{e^x - e^{-x} + \cos(x) - \sin(x)}{2} + 2 \right) = \bar{u}_\alpha(x) - \bar{u}_1(x), \end{aligned} \tag{32}$$

$[u(x)]^\alpha$ is a symmetric triangular fuzzy function.

According to Figure 4, we can see that $[u(x)]^\alpha$ is a valid fuzzy level set and symmetric fuzzy function.

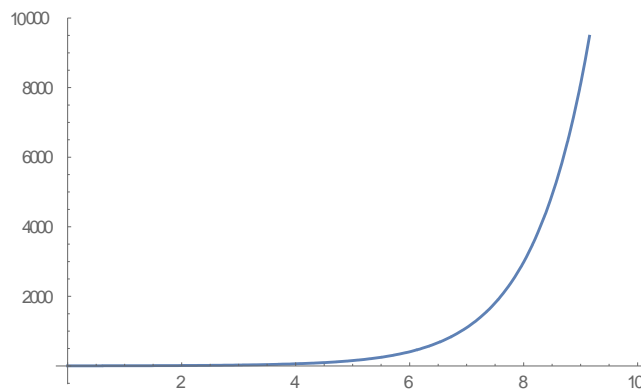


Figure 3. The graphic of the function $g(x) = 4 + e^x - e^{-x} - (\sin(x) + \cos(x))$.

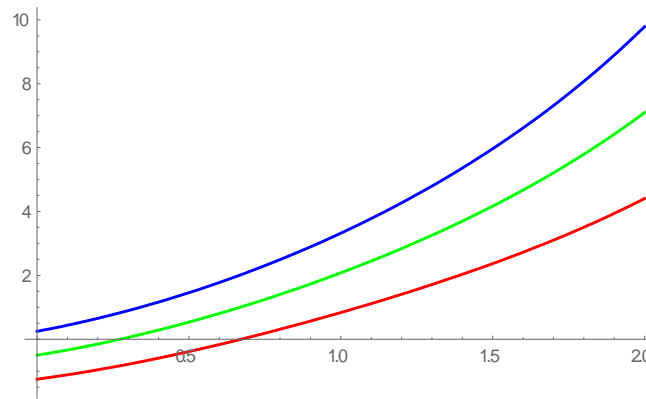


Figure 4. The graphic of $[u(x)]^\alpha$ for $\alpha = 0.5$.
red $\rightarrow \underline{u}_\alpha(x)$, *blue* $\rightarrow \overline{u}_\alpha(x)$, *green* $\rightarrow \underline{u}_1(x) = \underline{u}_1(x)$.

4. Conclusions

In this paper, fuzzy initial value problems for third-order fuzzy differential equation with positive and negative constant coefficients are studied. Solutions are found by fuzzy Laplace transform. Examples are solved. Graphics of solutions are drawn. It is seen that solutions are valid fuzzy functions. Also, it is shown that when initial values are symmetric triangular fuzzy numbers, solutions are symmetric triangular fuzzy functions.

References

- [1] Buckley J. J., Feuring T., Fuzzy differential equations, **Fuzzy Sets and Systems**, 110, 1, 43–54, (2000).
- [2] Gasilov N, Amrahov Ş. E., Fatullayev A. G., A geometric approach to solve fuzzy linear systems of differential equations, **Applied Mathematics and Information Sciences**, 5, 3, 484-499, (2011).
- [3] Gültekin Çitil H., The relationship between the solutions according to the noniterative method and the generalized differentiability of the fuzzy boundary value problem, **Malaya Journal of Matematik**, 6, 4, 781-787, (2018).
- [4] Gültekin Çitil H., Altınışık N., The Examination of Eigenvalues and Eigenfunctions of the Sturm-Liouville Fuzzy Problem According to Boundary Conditions, **International Journal of Mathematical Combinatorics**, 1, 51-60, (2018).
- [5] Hüllermeier E., An approach to modelling and simulation of uncertain dynamical systems, **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, 5, 2, 117-137, (1997).
- [6] Khastan A., Nieto J. J., A boundary value problem for second order fuzzy differential equations, **Nonlinear Analysis**, 72, 9-10, 3583-3593, (2010).
- [7] Allahviranloo T., Barkhordari Ahmadi M., Fuzzy Laplace transforms, **Soft Computing**, 14, 3, 235-243, (2010).

- [8] Patel K. R., Desai N. B., Solution of fuzzy initial value problems by fuzzy Laplace transform, **Kalpa Publications in Computing**, 2, 25-37, (2017).
- [9] Patel K. R., Desai N. B., Solution of variable coefficient fuzzy differential equations by fuzzy Laplace transform, **International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication**, 5, 6, 927-942, (2017).
- [10] Salahshour S., Allahviranloo T., Applications of fuzzy Laplace transforms, **Soft Computing**, 17, 1, 145-158, (2013).
- [11] Muhammad Ali H. F., Haydar A. K., On fuzzy Laplace transforms for fuzzy differential equations of the third order, **Journal of Kerbala University**, 11, 3, 251-256, (2013).
- [12] Liu H.-K., Comparison results of two-point fuzzy boundary value problems, **International Journal of Computational and Mathematical Sciences**, 5, 1, 1-7, (2011).

Betonarme kolonların eşdeğer akma eğriliği için önerilen pratik bağıntıların irdelenmesi

Umut HASGÜL*

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çağış kampüsü, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 21.11.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.12.2019

Öz

Bu çalışmada, yapı sistemlerinin şekildeğiştirme esaslı tasarımı ve değerlendirilmesi çerçevesinde, eşdeğer akma eğrilikleri için literatürde önerilen pratik yaklaşımların geçerliliği kare enkesitli betonarme kolonlar üzerinde teorik olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, donatı akma dayanımı sabit tutularak enkesit boyutu, normal kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımının parametrik olarak değiştirildiği 1500'ün üzerindeki hesap modeli için moment – eğrilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonuçları referans alınarak, ilgili bağıntıların hangi oranda doğru sonuç verdiği geniş bir çerçevede değerlendirilmiştir. İncelenen kolon enkesitlerine ait eşdeğer akma eğriliklerinin belirlenmesinde normal kuvvetin düzeyine bağlı olarak, $P/A_g f_c' < 0.3$ için donatı çeliğinin akması, $P/A_g f_c' = 0.3$ için donatı çeliğinin akması ve/veya betonun ezilmesi, $P/A_g f_c' > 0.3$ için ise betonun ezilmesi hakim olmuştur. Pratik bağıntılardan elde edilen akma eğrilikleri için boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımının bağımsız etkileri sınırlı iken, normal kuvvet düzeyi ile birlikte olan birleşik etkileri bu parametreleri önemli hale getirmiştir.

Anahtar kelimeler: Eşdeğer akma eğriliği, betonarme kolon, moment – eğrilik analizi, normal kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı, beton basınç dayanımı.

Investigation of practical equations for equivalent yield curvature of reinforcement concrete columns

Abstract

In this study, the usability of practical approaches proposed for equivalent yield curvature on reinforcement concrete columns with the square cross-section was numerically investigated in the framework of deformation based design and assessment

* Umut HASGÜL, hasgul@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-9358-3369>

of structural systems. In this context, the moment – curvature analyses on the column models more than 1500, in which the axial load level, cross-section dimension, longitudinal reinforcement ratio and concrete compression strength were modified parametrically, were conducted for the constant yield strength. Based on the analysis results, in what proportion the related equations give results was discussed comprehensively. Depending on the axial load levels of $P/A_g f_c' < 0.3$, $P/A_g f_c' = 0.3$ and $P/A_g f_c' > 0.3$ for the considered columns, the yielding of reinforcement, yielding of reinforcement and/or concrete crushing, concrete crushing governed the formation of yield curvatures, respectively. It can be deduced that while the independent effects with regard to the longitudinal reinforcement ratio and concrete compressive strength for the equivalent yield curvatures calculated by the practical approaches remained in minimal levels, the combined effects of them with the axial load level make these parameters become important these parameters.

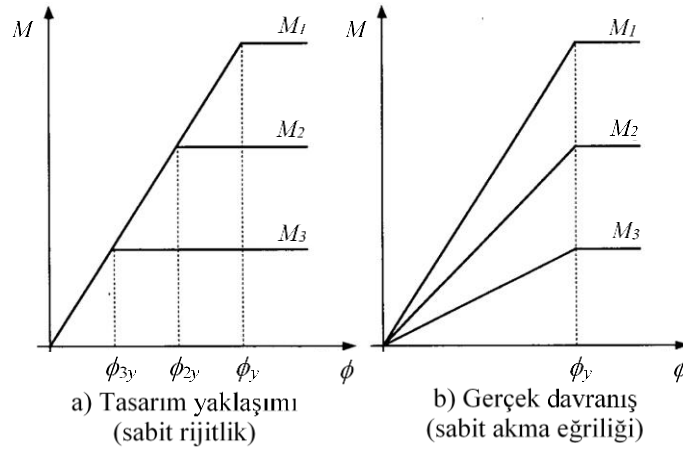
Keywords: Equivalent yield curvature, reinforced concrete column, moment – curvature analysis, axial load level, reinforcement ratio, concrete compression strength.

1. Giriş

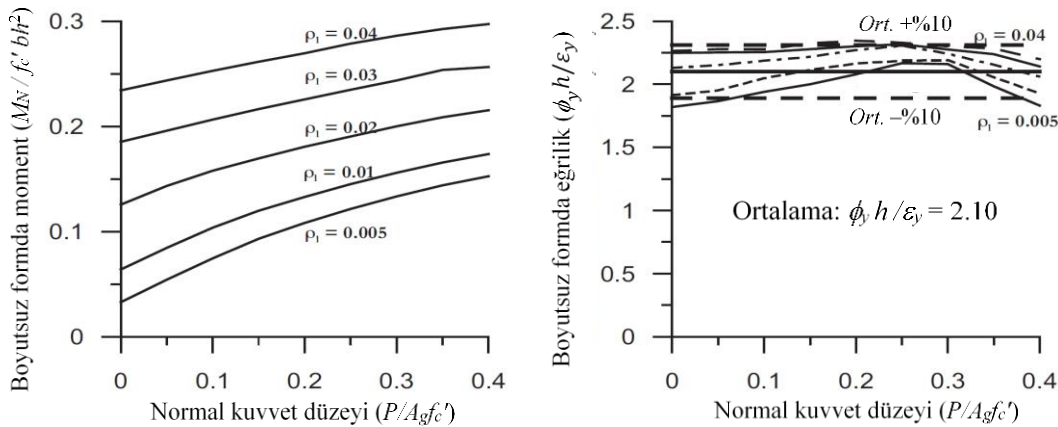
Deprem etkisindeki yapı sistemlerinin yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında oluşan hasar durumu, doğrudan yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme büyüklükleri ile ilişkili olduğundan (birim şekildeğiştirme, plastik dönme, öteleme gibi), bunu kontrol etmek için en etkin parametrenin dayanımdan ziyade yerdeğiştirmeler olduğu bilinmektedir. Belirli bir deprem seviyesi/seviyeleri altında doğrusal olmayan teoriyi esas alan statik/dinamik analiz yöntemleri kullanılarak bu davranış taleplerinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri sünekliktir. Bilindiği üzere, kesit, eleman ve sistem bazında yerdeğiştirme, eğrilik ve öteleme sünekliklerinin hesabı için akma eğriliğinin ve buna bağlı olarak akma yerdeğiştirmesinin gerçekçi belirlenmesi yapıların tasarımında ve değerlendirilmesinde önem arz etmektedir.

Pek çok yönetmelikte farklı eleman türleri için eğilme rijitliğini azaltan çarpanlar öngörülmektedir [1-5]. Örneğin, kirişler için 0.35'lik bir azaltma çarpanı uygulanırken, kolonlarda normal kuvvet düzeyine bağlı olarak 0.4 ile 0.7 arasında değişen çarpanlar uygulanmaktadır. Bu yaklaşım, enkesit rijitliklerinin belirlenmesinde önemli bir iyileştirme olmasına karşın elemandaki normal kuvvet, boyuna donatı oranı ve malzeme karakteristikleri gibi muhtemel etkileri ihmal etmektedir. Mevcut kuvvet esaslı yönetmeliklerde önerilen sabit etkin rijitlik ifadelerinin, tasarımda güvenli tarafta kalacak şekilde eleman rijitliklerini fazla belirlemekle birlikte şekildeğiştirme esaslı sismik deformasyon taleplerini belirlemede yetersiz kalabildiği belirtilmektedir [6]. Eğilme rijitliği için uygulanan bu yaklaşım, etkin rijitliğin dayanımdan bağımsız olarak sabit olduğunu ve elemanın eğilme kapasitesinin artması ile değişmediğini göstermektedir. Bu sonuç, akma yerdeğiştirmesinin doğrudan dayanımla orantılı olduğunu ortaya çıkarmaktadır (Şekil 1a). Kuvvet esaslı tasarım yaklaşımında yapılan bu kabulün geçersiz olduğu pek çok çalışmada belirtilmektedir [7-10]. Tasarım yönetmeliklerinde belirtilen sınırlar içerisinde betonarme kolonlar üzerinde yapılan parametrik incelemeler, akma eğriliğinin büyük ölçüde enkesit karakteristiğine bağımlı olduğunu ve dayanımdan bağımsız olduğunu göstermiştir (Şekil 1b). Bununla birlikte, moment–eğrilik davranışının iki doğru parçası ile idealleştirilmesiyle elde edilen eşdeğer akma eğriliğinin (ϕ_s), normal kuvvet düzeyi ve boyuna donatı oranının geniş bir bölgesi için sabit olduğu ifade edilmektedir [7,8,10-12].

Priestley vd. tarafından, betonarme çerçeve binaların dikkörtgen enkesitli kolonlarında etkin eğilme rijitliği ve akma eğriliğine etkileyen parametreler irdelenmiştir [8,10]. Enkesit boyutu, kabuk betonu kalınlığı, beton basınç dayanımı ve donatı akma dayanımı sabit tutularak normal kuvvet düzeyinin ($P/A_g f_c' = 0 - 0.4$) ve donatı oranının farklı değerleri ($\rho_l = \%0.5-4.0$) için moment-eğrilik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, enkesite ait moment taşıma kapasitesinin belirlenmesinde normal kuvvet düzeyi ve donatı oranının, beklenildiği gibi, önemli etkisinin olduğunu göstermiştir (Şekil 2a). Bununla birlikte, boyutsuz akma eğriliklerinin ($\phi_y h / \varepsilon_y$) bu büyüklüklere ait değişimlerden çok az oranda etkilendiği belirlenmiş ve ortalama 2.10 değeri önerilmiştir. Bu değer kullanılarak eşdeğer akma eğrilikleri $\pm \%10$ 'luk bir bant içinde belirlenebilmiştir (Şekil 2b). Burada, P , A_g ve f_c' sırasıyla normal kuvveti, brüt enkesit alanını ve karakteristik beton basınç dayanımını gösterirken, ϕ_y , h ve ε_y sırasıyla eşdeğer akma eğriliğini, enkesit yüksekliğini ve boyuna donatının akmadaki birim şekildeğiştirmesini ifade etmektedir.



Şekil 1. Moment-eğrilik davranışında dayanımın etkisi [7,8].



Şekil 2. Boyutsuz formda a) moment taşıma kapasitesi ve b) eşdeğer akma eğriliği [10].

Bu çalışmalar neticesinde, farklı enkesit geometrileri için eşdeğer akma eğriliğinin pratik hesabına yönelik (1a-d) bağıntıları önerilmiştir [7,8,10,12,13].

$$\phi_y = 2.10 \frac{\varepsilon_y}{h_c} \quad (\text{Betonarme dikkörtgen kolonlar için}) \quad (1a)$$

$$\phi_y = 2.25 \frac{\varepsilon_y}{D} \quad (\text{Betonarme dairesel kolonlar için}) \quad (1b)$$

$$\phi_y = 2.00 \frac{\varepsilon_y}{l_w} \quad (\text{Betonarme dikdörtgen perdeler için}) \quad (1c)$$

$$\phi_y = 1.70 \frac{\varepsilon_y}{h_b} \quad (\text{Betonarme T enkesitler için}) \quad (1d)$$

Burada; h_c , D , l_w ve h_b sırasıyla, dikdörtgen kolonun, dairesel kolonun, perdenin ve T enkesitli betonarme elemanın enkesit yüksekliğini göstermektedir.

Yerdeğiştirmeyi esas alan sismik tasarım yöntemlerinde akma yerdeğiştirmesinin daha gerçekçi belirlenmesi için dairesel ve dikdörtgen enkesitli betonarme kolonların eşdeğer akma eğrilikleri Montes ve Aschleim tarafından incelenmiştir [14]. Kolon enkesitlerinin enkesit yüksekliği, normal kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı, donatı akma dayanımı ve beton basınç dayanımı parametrik değiştirilerek moment – eğrilik analizleri yapılmıştır. İncelenen parametreler çerçevesinde, akma eğriliğinin pratik hesabı için (2a-b) bağıntıları önerilmiştir. Bu yaklaşım, [8,13]'deki (1a) bağıntısını esas almakla birlikte, normal kuvvet düzeyinin etkisini de içermektedir [14]. (2a-b) bağıntılarında; ε_y donatının akmadaki birim şekildeğiştirmesini, d enkesitin etkin yüksekliğini, $P/A_g f'_{cd}$ ise normal kuvvet düzeyini göstermektedir.

$$\phi_y = \frac{\varepsilon_y}{d} \left[2.3 - \left(0.6 - 2.5 \frac{P}{A_g f_{cd}} \right)^2 \right] \quad (\text{B-400 donatı çeliği için}) \quad (2a)$$

$$\phi_y = \frac{\varepsilon_y}{d} \left[2.2 - \left(0.6 - 2.5 \frac{P}{A_g f_{cd}} \right)^2 \right] \quad (\text{B-500 donatı çeliği için}) \quad (2b)$$

Betonarme perde yapıların sünek tasarımında akma yerdeğiştirmelerin hesabı için eşdeğer akma eğriliği Tjhin vd. tarafından nümerik olarak araştırılmıştır [15]. Normal kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı, gövde donatısı oranı, beton basınç dayanımı ve donatının akma dayanımını içeren moment – eğrilik analizleri sonucunda, eşdeğer akma eğriliğinin pratik hesabı için (3) bağıntısı önerilmiştir. Normal kuvvet düzeyinin düşük düzeyleri için ($P/f'_c A_w = 0 - 0.2$) akma eğriliklerinin %5 – %10 arasında hata oranları ile elde edilebildiği belirtilmiştir.

$$\kappa_\phi = 1.8\varepsilon_y + 0.0045 \frac{P}{f'_c A_w} \quad (3)$$

Literatürde betonarme kolonlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, enkesit boyutu, normal kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı ile malzemeye ait karakteristik dayanımlarının eşdeğer akma eğriliğine ve buna bağlı olarak, akma yerdeğiştirmesi ve yerdeğiştirme sünekliğini önemli oranda etkileyebileceğini göstermiştir. Buna karşın, akma eğriliğinin pratik hesabı için önerilen ampirik bağıntılarda, genel olarak, sadece enkesit yüksekliği ile donatının akmadaki birim şekildeğiştirmesinin gözönüne aldığı, diğer parametrelere ait bağımsız ve/veya birleşik etkilerinin ise ihmal edildiği görülmektedir.

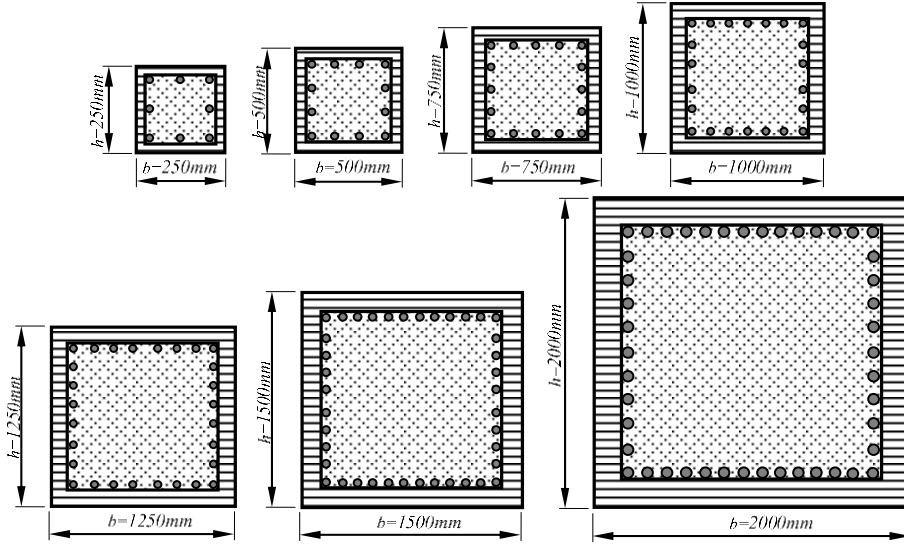
Bu çalışmada, yapı sistemlerinin şekildeğiştirme esaslı tasarımı ve değerlendirilmesi çerçevesinde, betonarme kolonların eşdeğer akma eğrilikleri için literatürde önerilen pratik yaklaşımların geçerliliği kare enkesitler üzerinde teorik olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, donatı akma dayanımı sabit tutularak enkesit boyutu, normal kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımının parametrik olarak değiştirildiği 1500'ün üzerindeki hesap modeli için moment – eğrilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu

analiz sonuçları referans alınarak, ilgili bağıntıların hangi oranda doğru sonuç verdiği geniş bir çerçevede değerlendirilmiştir.

2. Betonarme kolonlar üzerinde sayısal incelemeler

2.1. Kolon enkesitlerinin özellikleri

Sayısal incelemeler kapsamında, betonarme kolonların moment – eğrilik analizleri ile eşdeğer akma eğriliğine ait ampirik bağıntıları uygulamak amacıyla, 7 kare enkesit boyutu ($b \times h$) ile 8 boyuna donatı oranı (ρ_l) sistematik değiştirilerek toplam 56 adet hesap modeli oluşturulmuş ve daha sonra, normal kuvvet düzeyi ($P/A_g f_c'$) ve beton basınç dayanımları (f_c') değiştirilerek çok sayıda hesap modeli türetilmiştir (Şekil 3 ve Tablo 1). Kolon enkesitlerine ait eşdeğer akma eğrilikleri, donatı akma dayanımı (f_y) ile doğrudan değiştiğinden, diğer parametrelerdeki değişimlerin bağımsız ve/veya birleşik etkilerini irdelemek amacıyla donatıya akma dayanımı ve kabuk betonu kalınlığı oranı sabit tutulmuştur (Tablo 1).



Şekil 3. İncelenen betonarme kolon enkesitleri.

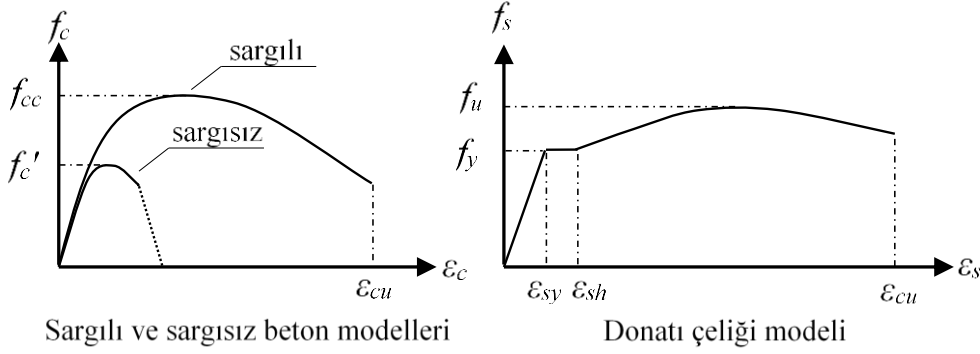
Tablo 1. Kolon hesap modellerine ait parametrelerin özeti.

Enkesit boyutları $b \times h$ (cm)	Boyuna donatı oranı ρ_l (%)	Normal kuvvet düzeyi ($P/A_g f_c'$)	Beton basınç dayanımı f_c' (MPa)	Donatı akma dayanımı f_y (MPa)	Kabuk betonu oranı (A_c/A_g)
	0.5	0	20		
	1.0	0.1	30		
	1.5	0.2	40		
25 x 25	2.0	0.3	50		
50 x 50	2.5	0.4	60	410	0.8
75 x 75	3.0	0.5			
100 x 100	3.5				
125 x 125	4.0				
150 x 150					
200 x 200					

2.2. Varsayımlar

Betonarme kolon enkesitlerinin moment–eğrilik analizlerinde yapılan başlıca varsayımlar aşağıda özetlenmiştir.

- Dik kesit şekildeğiştirdikten sonrada düzlem kalmaktadır.
- Çatlamış betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir.
- Beton ve donatı çeliği arasında tam aderans bulunmaktadır.
- Malzemenin gerilme – şekildeğiştirme bağıntısı; sargısız kabuk betonu ve sargılı göbek betonu için Mander vd. [16,17]'de önerilen beton modeli, donatı çeliği için ise King vd. [18]'deki model esas alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Beton ve donatı için gerilme – şekildeğiştirme bağıntıları.

2.3. Moment – eğrilik analizleri

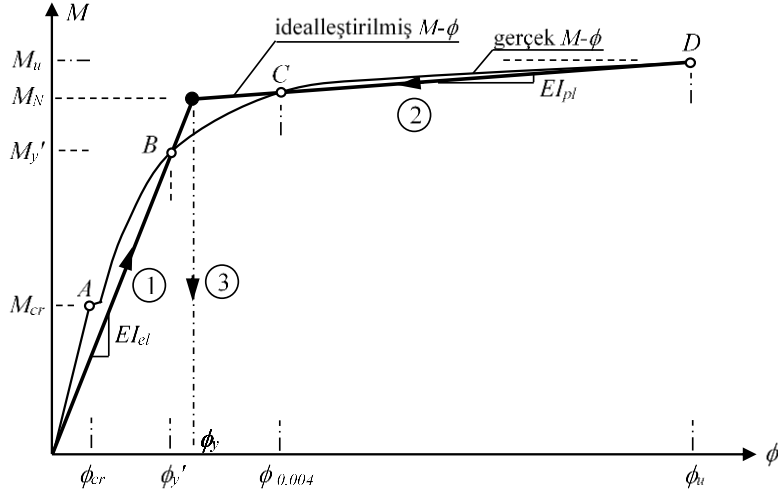
Betonarme bir enkesitin çatlama, elastik ve plastik bölgelerdeki davranışının belirlenmesi, akma ve taşıma gücü arasındaki herhangi bir sınır durumunda (*kullanılabilirlik, hasar kontrolü, can güvenliği* vb.) şekildeğiştirme durumunun belirlenmesi ve ayrıca, elemanın kuvvet – deformasyon – süneklik ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla moment – eğrilik analizine ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte, öngörülen sınır durum düzeyinde donatıda burkulmanın olup olmadığı, kesme kapasitesinin aşılmadığını kontrol etmek için de moment – eğrilik analizinden yararlanılmaktadır.

Çalışmada, eşdeğer akma eğriliklerini doğrudan veya dolaylı etkileyebileceği düşünülen farklı parametreler (normal kuvvet düzeyi – $P/A_g f_c'$, enkesit boyutu – $b x h$, boyuna donatı oranı – ρ_1 ve beton basınç dayanımı – f_c') gözönünde bulundurularak kolon enkesitlerinin moment – eğrilik analizleri yapılmıştır. Analizlerde *Cumbia* bilgisayar programından yararlanılmıştır [19]. *Cumbia*, dikdörtgen ve dairesel betonarme enkesitler için kabuk ve göbek betonunu bağımsız dilimlere ayırarak doğrusal olmayan kesit analizlerini yapabilmektedir. Ayrıca, herhangi bir sınır duruma karşılık gelen kuvvet – deformasyon – yerdeğiştirme – süneklik ilişkileri ayrıntılı olarak belirlenebilmektedir.

2.3.1. Eşdeğer akma eğriliğinin hesabı

Enkesit bazındaki sünekliğin hesabı için moment – eğrilik davranışı, elastik ve plastik kısım olmak üzere iki doğru parçası şeklinde idealleştirilebilir. Şekil 5'den görüleceği üzere, idealleştirilmiş grafiğinin elastik kısmını oluşturan doğru, başlangıçtan ilk akma noktası B 'ye kadar (ϕ_y', M_y') birleştirilir. Daha sonra, bu doğru parçası nominal moment değerine (C noktasına) kadar ekstrapole edilerek, idealleştirilmiş davranışa ait eşdeğer akma eğriliği (ϕ_y) elde edilir. Böylece, eşdeğer akma noktası (ϕ_y, M_N) ve taşıma gücüne karşı gelen D noktası (ϕ_u, M_u) birleştirilerek idealleştirilmiş grafiğin plastik kısmı belirlenir (Şekil 5). İdealleştirilmiş moment – eğrilik grafiğine ait eşdeğer akma eğriliği (4) bağıntısı ile hesaplanabilir [10].

$$\phi_y = \frac{M_N}{M_y'} \phi_y' \quad (4)$$



Şekil 5. Tipik bir moment – eğrilik grafiği ve iki doğru parçalı idealleştirilmesi.

2.4. Eşdeğer akma eğriliği için önerilen pratik yaklaşımların değerlendirilmesi

Dikdörtgen enkesitli betonarme elemanlara ait eşdeğer akma eğriliklerinin pratik hesabı için literatürde üç güncel yaklaşım bulunmaktadır. Esasları yukarıda verilen bu yaklaşımlardan en yaygın olanı Priestley tarafından [8,13]'de önerilen (1a) bağıntısıdır. Bu yaklaşımda, akma durumunun belirlenmesinde donatı çeliğinin hakim olduğu varsayımı yapılmakta ($\varepsilon_s = \varepsilon_{sy}$) ve eşdeğer akma eğriliği (ϕ_y), enkesit yüksekliği (h) ve donatının akmadaki birim şekildeğiştirmesine (ε_{sy}) bağlı olarak hesaplanmaktadır. Önerilen bağıntıda enkesitteki normal kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımı gibi parametrelerin etkisi ihmal edilmekle birlikte, akma eğriliklerinin $\pm\%10$ 'lık bir tolerans içerisinde kaldığı belirtilmektedir [8,10,13]. Literatürdeki diğer iki ayrı çalışmada [14,15], akma eğriliklerinin pratik hesabı için (1a) bağıntısının ana çerçevesi korunarak ve normal kuvvet düzeyinin etkisi de ilave edilerek iyileştirilmeye çalışılmıştır. Buna karşın, boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımlarındaki değişimlerin etkisi ihmal edilmiştir.

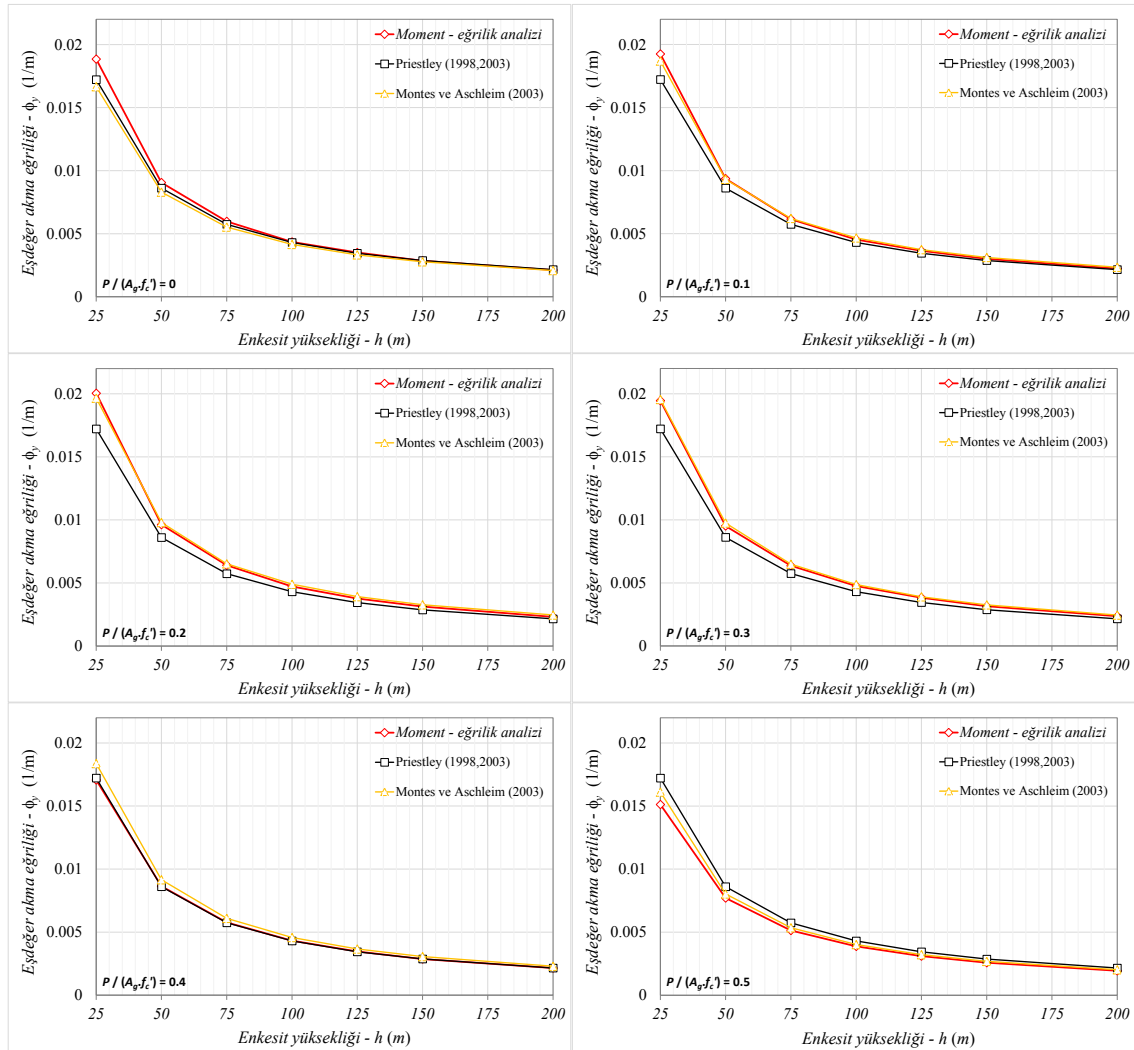
Çalışmada incelenen kolon enkesitlerine, bu yaklaşımlar uygulanmış ve moment – eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçlar referans alınarak değerlendirilmiştir. Burada, [15]'de önerilen (3) bağıntısı, esasen perde elemanların tasarımı için önerildiğinden ve normal kuvvetin sadece düşük düzeylerinde ($P/A_w f_c' \leq 0.2$) geçerli olduğundan sayısal incelemelerde gözönüne alınamamıştır. Çalışmada gözönüne alınan parametrelerin eşdeğer akma eğriliğine bağlı değişimleri ile karşılaştırmalar sabit bir donatı akma dayanımı için yapılmıştır. Daha düşük veya yüksek dayanımlı donatılar kullanılması halinde, davranışa ait genel karakteristiğin değişmeyeceği ve akma dayanımı arttıkça akma eğriliğinin artacağı bilinmektedir [8,10,11,14]. Çalışmada ele alınan her bir parametredeki değişimin akma eğriliği üzerindeki etkisi, istatistiksel olarak hesaplanan ortanca (median) değerler esas alınarak değerlendirilmiştir.

2.4.1. Enkesit yüksekliğinin değişimi bakımından sonuçların irdelenmesi

$P/A_g f_c' = 0 - 0.5$ arasında incelenen 6 normal kuvvet düzeyi için moment – eğrilik analizlerinden ve pratik yaklaşımlardan elde edilen eşdeğer akma eğriliklerinin enkesit yüksekliği ile değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Moment – eğrilik analizleri sonucunda, akma eğrilikleri $h \leq 125^{cm}$ 'e kadar hızla azalan yönde bir karakteristik göstermekle birlikte, enkesit yüksekliğinin artan değerleri için değişimler sınırlı kalmaktadır (Şekil 6). Bununla birlikte, ampirik bağıntılara ait sonuçlar incelendiğinde;

Priestley tarafından önerilen (1a) bağıntısı, en küçük kolon enkesiti dışındaki her enkesit boyutunda birbirine yakın rölatif farklar ile eşdeğer akma eğriliklerini belirlemekle birlikte, normal kuvvet düzeyine bağlı olarak oluşan bu farkların eşit oranda azaldığı ya da arttığı görülmüştür (Şekil 6). Bununla birlikte, ilgili bağıntıya ait en büyük rölatif fark $P/A_g f_c' = 0.2$ için oluşmuştur. Akma durumunun belirlenmesinde donatı çeliğinin hakim olduğu $P/A_g f_c' \leq 0.3$ için hesaplanan rölatif farklar $-\%14.1 \sim +\%1.5$ arasında değişmekle birlikte, akma eğrilikleri ortalama $\%7$ hata ile belirlenebilmektedir. Normal kuvvetin ilerleyen düzeyleri için bu farklar artan yöne geçmektedir. Çalışmada gözönüne alınan en büyük normal kuvvet düzeyi ($P/A_g f_c' = 0.5$) için, akma eğrilikleri arasındaki farkların $+\%13.8$ 'e ulaşabildiği belirlenmiştir.

Montes ve Aschleim tarafından önerilen (2a) bağıntısı kullanıldığında, gözönüne alınan her normal kuvvet düzeyi ve enkesit yüksekliği için hesaplanan eşdeğer akma eğrilikleri, moment – eğrilik analiz sonuçları ile oldukça uyumludur (Şekil 6). $P/A_g f_c' \leq 0.3$ için, $-\%11.6 \sim +\%6.5$ arasında değişen farklar oluşmasına karşın, farklı enkesit yüksekliklerine ait ortalama fark oldukça düşüktür ($\%0.2$). $P/A_g f_c' = 0.4$ ve 0.5 düzeyleri için bu farklar ortalama olarak, sırasıyla, $+\%6.4$ ve $+\%4.4$ oranındadır. Burada, ilgili bağıntıya ait en büyük rölatif fark, en küçük yüksekliğe sahip ($b \times h = 25 \times 25 \text{ cm}$) ve normal kuvvetsiz ($P/A_g f_c' = 0$) kolon enkesitinde oluşmuştur.

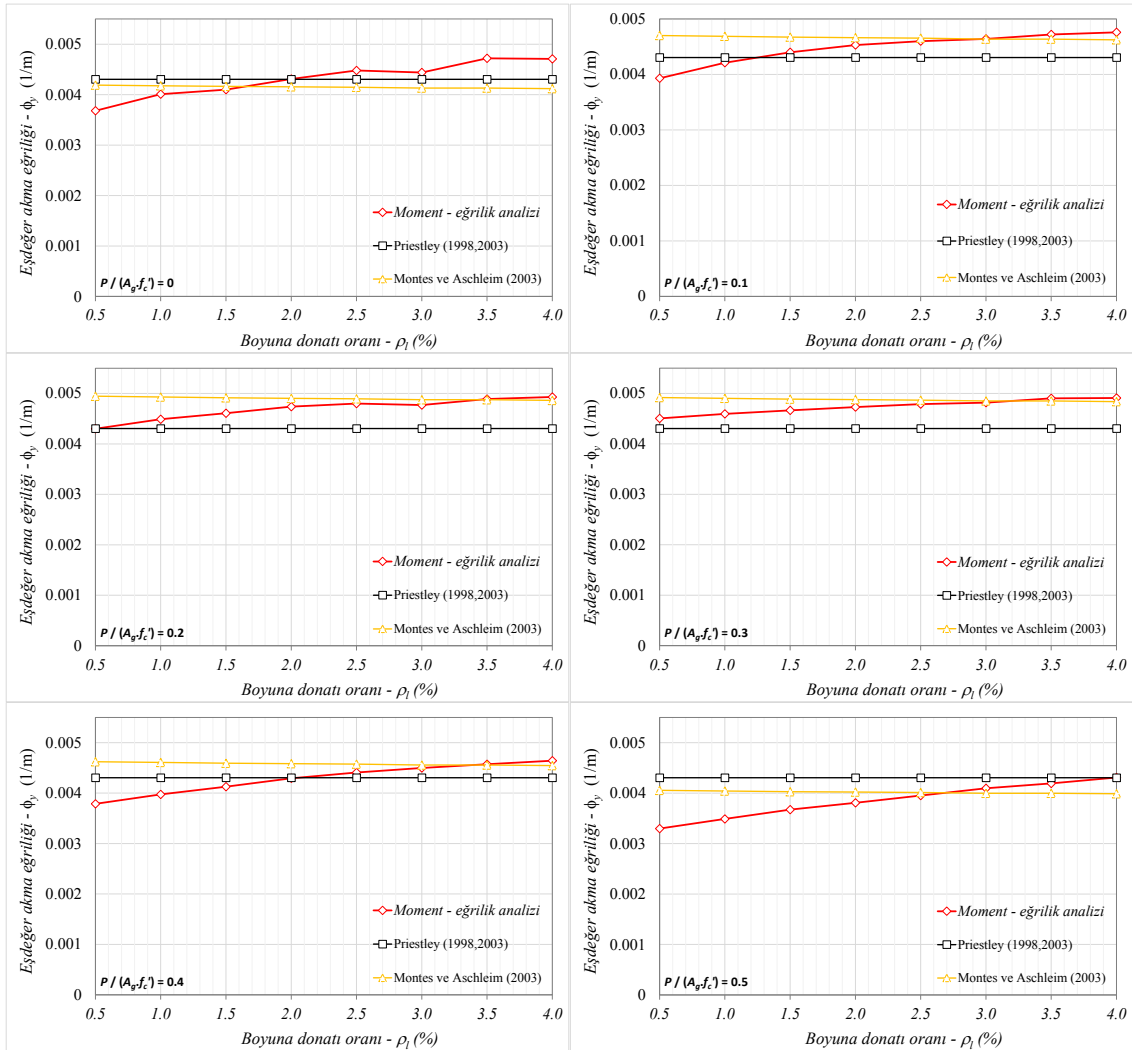


Şekil 6. Enkesit yüksekliğinin farklı değerleri için akma eğriliklerinin karşılaştırılması.

2.4.2. Boyuna donatı oranındaki değişim bakımından sonuçların irdelenmesi

İncelenen kolon enkesitlerinin moment – eğrilik analizlerinden ve pratik yaklaşımlardan elde edilen eşdeğer akma eğriliklerinin boyuna donatı oranı ile değişimleri farklı normal kuvvet düzeyleri için Şekil 7’de verilmiştir. Moment – eğrilik analizleri sonucunda, donatı oranı arttıkça akma eğriliklerinin bir miktar arttığı, buna karşın ampirik bağıntıların bu değişimi belirlemede yetersiz kalabildikleri görülmüştür. İlgili bağıntılara ait sonuçlar incelendiğinde;

$\rho_l = \%0.5 \sim 4.0$ arasında gözönüne alınan 8 boyuna donatı oranı için (1a) bağıntısı ile hesaplanan eşdeğer akma eğriliklerinin, normal kuvvet düzeyine bağlı olarak azalan veya artan yönde olabildiği görülmüştür (Şekil 7). Burada, $P/A_g f_c' \leq 0.3$ için hesaplanan akma eğrilikleri $-\%12.7$ 'ye ulaşan oranlarda daha az iken ($\rho_l = \%0.5$ ve 1.0 dışında), beton ezilmesinin hakim olduğu $P/A_g f_c' > 0.3$ için hesaplanan farkların artarak pozitif yöne geçtiği belirlenmiştir. Bu bölgede, donatı oranı arttıkça bu farkların azalan yönde bir karakteristik göstermektedir (Şekil 7). $P/A_g f_c' = 0.4$ ve 0.5 düzeyleri için akma eğriliklerine ait rölatif farklar sırasıyla, $-\%7.3 \sim +\%13.7$ ve $-\%0.1 \sim +\%30.5$ arasında değişmekle birlikte, hesaplanan ortalama hata oranları $\%1$ ve $\%12.5$ seviyelerindedir.



Şekil 7. Farklı boyuna donatı oranları için akma eğriliklerinin karşılaştırılması.

Eşdeğer akma eğrilikleri için (2a) bağıntısı kullanıldığında, düşük donatı oranlarında (özellikle $\rho_l = \%0.5$ ve 1.0) hesaplanan akma eğrilikleri normal kuvvetin her düzeyinde bir

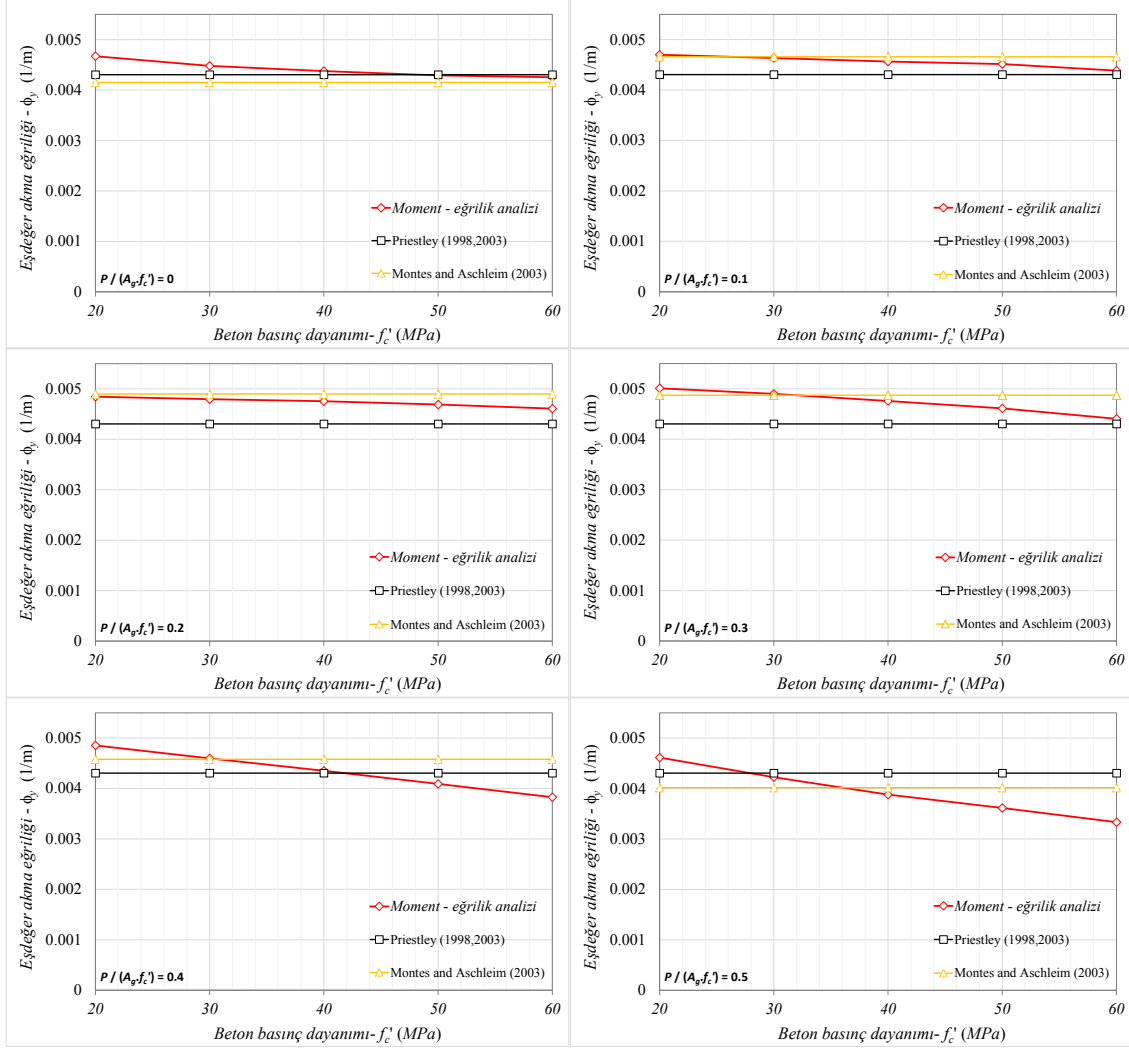
miktar fazladır. Buna karşın, donatı oranı arttıkça akma eğriliklerine ait farkların azalan bir eğilim gösterdiği ve moment – eğrilik analizlerinden elde edilenlerle uyumlu hale geldiği görülmüştür (Şekil 7). $P/A_g f'_c \leq 0.3$ için rölatif farklar $- \%12.5 \sim + \%19.7$ arasında değişmesine karşın, farklı donatı oranlarına ait ortalama hata $\%2.3$ düzeyindedir. $P/A_g f'_c = 0.4$ ve 0.5 düzeyleri için ise ortalama rölatif farklar, sırasıyla, $+ \%7.3$ ve $+ \%5.1$ oranlarındadır.

2.4.3. Beton basınç dayanımındaki değişim bakımından sonuçların irdelenmesi

Kolon enkesitlerine ait eşdeğer akma eğriliklerinin beton basınç dayanımı ($f'_c = 20 - 60$ MPa) ile değişimleri farklı normal kuvvet düzeyleri için Şekil 8'de verilmiştir. Moment – eğrilik analizleri sonucunda, $P/A_g f'_c \leq 0.3$ düzeyine kadar beton basınç dayanımındaki artışın akma eğriliği üzerindeki etkisi çok küçük iken ($< \%10$), beton ezilmesinin hakim olduğu $P/A_g f'_c > 0.3$ düzeyleri için basınç dayanımı arttıkça eğrilik değerleri hızla azalmaktadır (Şekil 8). Eşdeğer akma eğriliklerinin pratik hesabı için literatürde önerilen bağıntılarda, beton basınç dayanımına ait etkilerin ihmal edildiği söylenebilir. İlgili bağıntılara ait sonuçlar incelendiğinde;

(1a) bağıntısından elde edilen akma eğriliklerinin, $P/A_g f'_c \leq 0.3$ düzeyleri için daha az sonuç verdiği ($- \%14.1 \sim + \%1.2$) ve beton basınç dayanımı arttıkça moment – eğrilik analiz sonuçlarına yakın hale geldiği belirlenmiştir (Şekil 8). Bu bölgede, kolon enkesitlerine ait akma eğrilikleri ortalama $\approx \%6.5$ hata oranı ile belirlenebilmektedir. Normal kuvvetin ilerleyen düzeyleri için akma eğriliklerine ait rölatif farklar, basınç dayanımına bağlı olarak artan yöne geçmektedir. $P/A_g f'_c = 0.4$ ve 0.5 için hesaplanan rölatif farklar, sırasıyla, $- \%11.3 \sim + \%12.5$, $- \%6.7 \sim + \%29.1$ arasında değişmekle birlikte, ortalama hata oranları $\%0.2$ ve $\%11$ düzeyindedir. İlgili bağıntıya ait en büyük fark, normal kuvvet düzeyinin ve beton basınç dayanımının en büyük olduğu kolon enkesitinde elde edilmiştir.

$P/A_g f'_c \leq 0.3$ düzeylerinde (2a) bağıntısı kullanılarak her beton basınç dayanımı için hesaplanan eşdeğer akma eğriliklerinin moment – eğrilik analizlerinden elde edilenlerle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 8). Bu düzeylerde, ilgili yaklaşım basınç dayanımı arttıkça bir miktar fazla sonuç vermekle birlikte, en büyük rölatif farkın $\approx \%10$ olduğu söylenebilir. Beton ezilmesinin hakim olduğu daha yüksek normal kuvvet düzeylerinde ($P/A_g f'_c > 0.3$), basınç dayanımındaki artışla birlikte hesaplanan farklar hızla yükselmektedir (Şekil 8). Elde edilen sonuçlara ait rölatif farklar $P/A_g f'_c = 0.4$ ve 0.5 için sırasıyla, $- \%5.7 \sim + \%19.6$ ve $- \%12.9 \sim + \%20.5$ arasında değişmekle birlikte, ortalama hata oranları $\%6.1$ ve $\%3.5$ düzeyindedir. Bu yaklaşım için en büyük rölatif fark, (1a) bağıntısında olduğu gibi normal kuvvet düzeyinin ve beton basınç dayanımının en büyük olduğu kolonda elde edilmiştir.



Şekil 8. Farklı beton basınç dayanımları için akma eğriliklerinin karşılaştırılması.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, betonarme kolonların eşdeğer akma eğrilikleri için literatürde önerilen pratik yaklaşımların geçerliliği kare enkesitler üzerinde incelenmiştir. Çalışma kapsamında, donatı akma dayanımı sabit tutularak enkesit boyutu, normal kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımının parametrik olarak değiştirildiği 1500'ün üzerindeki hesap modeli için moment – eğrilik analizleri yapılmıştır. Daha sonra, ilgili bağıntıların hangi oranda doğru sonuç verdiği moment – eğrilik analiz sonuçları referans alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan varsayımlar altında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Çalışma kapsamında birçok parametrenin sistematik olarak değiştirildiği kolon enkesitleri üzerinde yapılan moment – eğrilik analizleri sonucunda, enkesit yüksekliği ve normal kuvvet düzeyindeki değişimlerin eşdeğer akma eğriliği üzerinde belirleyici etkisinin olduğu görülmüştür. Akma eğriliklerinin belirlenmesinde normal kuvvet düzeyine bağlı olarak, $P/A_g f'_c < 0.3$ için donatı çeliğinin akması, $P/A_g f'_c = 0.3$ için donatı çeliğinin akması ve/veya betonun ezilmesi, $P/A_g f'_c > 0.3$ için ise betonun ezilmesi hakim olmuştur. Akma eğriliği üzerinde boyuna donatı oranı ve beton basınç

dayanımının bağımsız etkileri sınırlı iken, normal kuvvet düzeyi ile birlikte olan birleşik etkileri bu parametreleri önemli hale getirmektedir.

- Priestley tarafından önerilen bağıntı, her enkesit boyutunda birbirine yakın rölatif farklar ile akma eğriliklerini belirlemekle birlikte, normal kuvvet düzeyine bağlı olarak oluşan bu farkların eşit oranda azaldığı ya da arttığı görülmüştür. $P/A_g f'_c \leq 0.3$ için akma eğrilikleri $-\%14.1$ 'ye ulaşan oranlarda daha az iken, $P/A_g f'_c > 0.3$ düzeylerinde rölatif farklar artan yöne geçerek $+\%13.8$ 'a ulaşabilmektedir. Bununla birlikte, farklı donatı oranları için hesaplanan akma eğrilikleri, $P/A_g f'_c \leq 0.3$ için daha az iken ($\rho_l = \%0.5$ ve 1.0 dışında), $P/A_g f'_c > 0.3$ düzeylerinde rölatif farkların $+\%29$ 'a ulaşabildiği belirlenmiştir. Bu bağıntı kullanılarak hesaplanan akma eğriliklerinin, $P/A_g f'_c \leq 0.3$ için daha az sonuç verdiği ve beton basınç dayanımı arttıkça moment – eğrilik analiz sonuçlarına yaklaştığı belirlenmiştir. $P/A_g f'_c > 0.3$ için ise, akma eğriliklerine ait farklar basınç dayanımına bağlı olarak $\approx \%29$ 'a ulaşabilmektedir.
- Montes ve Ashleim tarafından önerilen bağıntı, gözönüne alınan her normal kuvvet düzeyi ve enkesit yüksekliği için eşdeğer akma eğriliklerini oldukça iyi belirlemektedir. Düşük donatı oranlarında (özellikle $\rho_l = \%0.5$ ve 1.0) hesaplanan akma eğrilikleri normal kuvvetin her düzeyinde bir miktar daha fazladır. Buna karşın, donatı oranı arttıkça akma eğrilikleri moment – eğrilik analizlerinden elde edilenlerle uyumlu hale gelmiştir. $P/A_g f'_c \leq 0.3$ düzeylerinde, her beton basınç dayanımı için hesaplanan akma eğriliklerinin referans sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Buna karşın, $P/A_g f'_c > 0.3$ için basınç dayanımındaki artışla birlikte oluşan farkların hızla arttığı belirlenmiştir.

Betonarme elemanlara ait eşdeğer akma eğriliklerinin pratik hesabına yönelik olarak, enkesit boyutu ile donatı akma şekildeğiştirmesinin yanısıra, normal kuvvet düzeyinin boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımı ile birleşik etkilerinin gözönüne alınması, şekildeğiştirme esaslı süneklik taleplerinin daha gerçekçi belirlenmesine olanak sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] prEN 1998-1, Eurocode–8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. **European Committee for Standardization**, Brussels, (2003).
- [2] AASHTO, Recommended LRFD guidelines for the seismic design of highway bridges, **American Association of State Highway and Transportation Officials**, NCHRP 20–07 Task 193, Washington DC, (2006).
- [3] FEMA 356, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. **Federal Emergency Management Agency**, Washington, DC, (2000).
- [4] ACI-318, Building code and requirements for structural concrete, **American Concrete Institute**, Farmington Hills, Michigan, (2011).
- [5] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar, **Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı**, Ankara, (2018).
- [6] Biskinis, D. ve Fardis, M.N., Deformations of concrete members at yielding and ultimate under monotonic or cyclic loading (Including repaired and retrofitted members), University of Patras - Department of Civil Engineering, Report No: SEE 2009-01, Patras, (2009).
- [7] Priestley, M.J.N., Performance-based seismic design, **Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering**, Paper No: 2831, Auckland, (2000).

- [8] Priestley, M.J.N., **Myths and Fallacies in Earthquake Engineering**, Revisited the Ninth Mallet Milne Lecture, IUSS Press, Pavia, (2003).
- [9] Priestley, M.J.N., **The Need for Displacement-Based Design and Analysis**, (In: Pecker, A. (eds) *Advanced Earthquake Engineering Analysis*), CISM International Centre for Mechanical Sciences, 494, 121 – 132, (2007).
- [10] Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. ve Kowalsky, M.J., Displacement-based seismic design of concrete structures, **6th National Conference on Earthquake Engineering**, İstanbul, (2007).
- [11] Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. ve Kowalsky, M.J., **Displacement-Based Seismic Design of Structures**, IUSS Press, Pavia, (2007).
- [12] Priestley, M.J.N. ve Kowalsky, M.J., Aspects of drift and ductility capacity of rectangular cantilever structural walls, **Bulletin of NZSEE**, 31, 6, 73 – 85, (1998).
- [13] Priestley, M.J.N., Brief comments on elastic flexibility of reinforced concrete frames and significance to seismic design, **Bulletin of NZSEE**, 31, 4, 246 – 259, (1998).
- [14] Montes, E.H. ve Aschleim, M., Estimates of yield curvature for the design of reinforced concrete columns, **Magazine of Concrete Research**, 55, 4, 373 – 383, (2003).
- [15] Tjhin, T.N., Aschleim, M.A. ve Wallace, J.W., Yield displacement estimates for displacement-based seismic design of ductile reinforced concrete structural wall buildings, **13th World Conference on Earthquake Engineering**, Paper No: 1035, Vancouver, (2004).
- [16] Mander, J.B., Priestley, M.J.N. ve Park, R., Theoretical stress-strain model for confined concrete, **Journal of Structural Engineering**, 114, 8, 1804 – 1826, (1988).
- [17] Mander, J.B., Priestley, M.J.N. ve Park, R., Observed stress-strain model of confined concrete, **Journal of Structural Engineering**, 114, 8, 1827 – 1849, (1988).
- [18] King, D.J., Priestley, M.J.N. ve Park, P., Computer programs for concrete column design, University of Canterbury - Department of Civil Engineering, Research Report: 86/12, Christchurch, (1986).
- [19] Montejo, L.A. ve Kowalsky, M.J., CUMBIA - Set of codes for the analysis of reinforced concrete members, North Carolina State University - Constructed Facilities Laboratory, Technical Report: IS-07-01, Raleigh, NC, (2007).

Algoritma yazma ve öğrenimi hakkında meslek yüksekokulu öğrencilerinin görüşleri¹

Ahmet AKKAYA¹, Gülcan ÖZTÜRK^{2,*}

¹Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Gönen Meslek Yüksekokulu, Gönen, Balıkesir

²Balıkesir Üniversitesi Necatibey Eğitim Fakültesi, Altıeylül, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 09.11.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.12.2019

Öz

Günümüz teknolojisinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar, akıllı telefon, tablet gibi cihazların kullanımı artmıştır. Bu cihazların popüler olmasını sağlayan en önemli neden içerisindeki uygulama yazılımlarıdır. Yazılımları oluşturmak için mutlaka bir programcıya ihtiyaç vardır. Programcının ise istenen yazılımı oluşturmadan önce yazılıma ait algoritmayı zihninde tasarlayıp, yazması gerekmektedir. Algoritma yazma süreci de soyut bir süreç olduğundan öğrenciler algoritma yazmada ve öğreniminde zorluk yaşamaktadırlar. Bu araştırmanın amacı, meslek yüksekokulu bilgisayar programcılığı programında öğrenim görmekte olan öğrencilerin, algoritma yazma ve öğrenimi hakkındaki görüşlerini belirlemektir. Araştırmanın katılımcıları, Batı Anadolu’da bulunan bir üniversitenin meslek yüksekokulu bilgisayar programcılığı programı ikinci sınıfında öğrenim görmekte olan 38 öğrencidir. Çalışmada, katılımcılar algoritma ve programlama ile ilgili dersleri almış olan öğrencilerden seçildiği için amaçsal örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Nitel araştırma desenlerinden olgubilim desenine göre yürütülen araştırmada verileri toplamak için yarı yapılandırılmış görüşme yöntemi kullanılmıştır. Görüşmelerden elde edilen veriler içerik analizi kullanılarak kodlanmıştır. Yapılan kodlamalar için kodlayıcılar arası uyum oranı %81 olarak bulunmuştur. Veriler kodlandıktan sonra ortaya çıkan temalara göre sınıflandırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, algoritma yazma sürecinin soyut işlemlerden oluşmasının algoritma konularının öğrenilmesini zorlaştırdığı, öğrencilerin büyük çoğunluğunun, algoritma konusunun öğrencinin aktif olduğu yöntemlerle işlenmesi ve algoritma görselleştirme uygulamalarının kullanılmasının öğrencilerin soyut işlemleri somutlaştırmalarını sağladığı şeklinde görüş belirttiği görülmüştür. Araştırma sonunda ortaya çıkan görüşler doğrultusunda algoritma konularının öğretimine yönelik olarak önerilerde bulunulmuştur.

¹ 27–29 Nisan 2017 tarihlerinde Çanakkale, Türkiye’de düzenlenmiş olan VII. Uluslararası Eğitimde Araştırmalar Kongresinde sunulan ve Özeti Kitabı, s. 418’de yayımlanan “Öğrencilerin Algoritma Yazma ve Öğrenimi Konusundaki Görüş ve Düşünceleri” başlıklı sözlü bildirin genişletilmiş halidir.

Ahmet AKKAYA, aakkaya@bandirma.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-4836-2310>

* Gülcan ÖZTÜRK, ozturkg@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-4399-1329>

Anahtar Kelimeler: *Algoritma yazma, algoritma öğrenimi, meslek yüksekokulu, bilgisayar programcılığı.*

Opinions of vocational school students about algorithm writing and learning

Abstract

With the development of today's technology, the use of devices such as computers, smartphones and tablets has increased. The most important reason to make these devices popular is the application software. A programmer is required to create the software. The programmer must design and write the algorithm of the software in mind before creating the desired software. Since the process of writing algorithms is an abstract process, students have difficulty in writing and learning algorithms. The aim of this study is to determine the opinions of students who were studying computer program in vocational school about writing and learning algorithms. The participants of the study are 38 students who are studying in the second year of the computer programming program of a vocational school of a university in Western Anatolia. As the participants were selected from students who had taken the courses on algorithm and programming, criterion sampling method was used as one of the purposive sampling methods. Semi-structured interview method was used to collect the data in the study which was conducted according to the phenomenological design of qualitative research designs. The data obtained from the interviews were coded using content analysis. The data were classified according to the themes that appeared after coding. As a result of the analyses, the majority of the students stated that the abstract process of the algorithm writing process made it difficult to learn the topics of the algorithm, the process of learning the topics of the algorithm with the active methods and the use of the algorithm visualization applications concretize the abstract processes. At the end of the research, suggestions were made for the teaching of algorithms.

Keywords: *Algorithm writing, algorithm learning, vocational school, computer programming.*

1. Giriş

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler sayesinde, bilgisayarlarla yapılan aritmetiksel ve mantıksal işlemler gelişmiştir. Bilgisayarlardaki bu işlemler, çeşitli programlama dilleri kullanılarak bir takım programlar vasıtasıyla yapılmaktadır [1]. Bilgisayar vasıtasıyla herhangi bir problemin, çeşitli komutlar kullanılarak çözülmesi sürecine program denir [2]. Bilgisayar bilimleri içerisinde en önemli öğelerden biri programlamadır. Programlama, öğretmenler ve öğrenciler için çalışılması en zor alanlardan biri olarak görülmüştür [3]. Programlama alanında, bilgisayarlarda kullanılmak üzere program yazan yani yazılım geliştiren kişilere programcı denilmektedir [2]. Programcının kendisinden istenen ya da ihtiyaç duyulan bir durumda bir programı yazma sürecinde takip etmesi gereken belirli işlem adımları vardır. Bu işlem adımlarından birincisi

problemin tanımlanmasıdır. Problem tanımlandıktan sonra bu problemin çözüm yollarının düşünülmesi, uygun çözüm yolları bulunarak algoritma oluşturulması, oluşturulan algoritmanın çeşitli geometrik şekillerden meydana gelen akış diyagramına yerleştirilmesi daha sonraki adımlardır. Akış diyagramına yerleştirilen algoritmanın uygun programlama dilinde ifade edilerek bilgisayar tarafından anlaşılır hale getirilerek istenen programın yazılması ise son işlem adımındır. Yazılan program çeşitli verilerle test edildikten sonra ortaya çıkan ürün yani program kullanıcılara dağıtılır. Program yazma sürecinde problem tanımlanıp, çözüm yolları düşünüldükten ve uygun çözüm yolları bulunduktan sonra gelen algoritma oluşturulması adımı en önemli adımlardan bir tanesidir. İhtiyaç duyulan ya da ortaya çıkan herhangi bir problemin çözülebilmesi için, yapılması gereken işlemlerin hiç bir yanığı ya da yoruma yer vermeyecek biçimde açık, düzenli ve sıralı bir şekilde yazılması algoritma olarak tanımlanmıştır [4]. Algoritmaların temel özelliği soyut kavramların insan zihninde tasarlanarak gerçeğe dönüştürüldüğü yazılar olmasıdır.

Algoritma geliştirilmesiyle birlikte, program daha iyi anlaşılması ve yazılacak programlama diline aktarılmasının daha kolay olması amacıyla prototip biçimine getirilir. Böylece problemin çözüm aşamaları, birbirleri ile bağlantıları ve bilgi akışı daha kolay gözlemlenerek meydana gelen hatalar düzeltilebilir. Algoritma yazma süreci tamamlandıktan sonra doğruluğu kontrol edilerek çözümün daha kısa yoldan yapılması durumu gözden geçirilir. Son işlem olarak da meydana gelebilecek hataları önlemek için gerekli tedbirler alınır. Geliştirilen algoritmalarda en sık karşılaşılan hatalar mantıksal hatalardır. Bu tip hatalar problemin çözüm adımları belirlenirken yapılan yanlışlıklardan kaynaklanmaktadır [4]. Mantıksal hataların en önemli sebebi bilgisayar programlarının soyut kavramlardan oluşmasıdır. Yapılan araştırmalarda soyut kavramların somut kavramlara kıyasla daha zor öğrenildiği görülmektedir [5-7]. Programlamaya ilk defa adım atan kişilerin zorlandıkları noktalar, istenilen problemi çözmek amacıyla hangi yapıların kullanılması gerektiği, bu yapıların nasıl koordine edileceği ve program parçalarını anlamlı bir bütün haline nasıl getirileceği olarak belirtilmiştir [8]. Bu sorunu gidermek için, görsel olma özelliği taşıyan, öğrenilmesi kolay Alice, Microsoft Small Basic, Scratch, Stagecast Creator ve Toontalk gibi programlama ortamları geliştirilmiştir [9].

Öğrencilerin ya da programlamaya yeni başlayanların algoritma yazmada ve öğreniminde yaşadıkları sorunların önüne geçmek amacıyla çeşitli algoritma görselleştirme sistemleri de geliştirilmiştir. Bu sistemler, çalışma esnasında algoritmaları göstererek, bilgisayar bilimleri alanında çalışan öğrencilerin algoritmaları daha iyi öğrenmelerini sağlamayı amaçlamıştır [10]. Giriş düzeyi programlama öğretiminde yeni kavramları öğretmek için yazılım tasarımı desenleri ve değişken rolleri olmak üzere iki türde algoritma görselleştirme çalışması yapılmıştır [11]. Bu çalışmalarla programlama dili ve programın uygulandığı platformdan bağımsız olarak problem çözümleri yapılmaktadır. [12] tarafından geliştirilmiş olan VINCE (Visual Instructions for Learners in C Environment) sisteminde, öğrenciler programları görsel olarak adım adım takip etmişler, değişkeni tanımladıktan sonra bu değişkenin hafızada kapladığı alanı görmüşler, karmaşık bir programda meydana gelen işlemlerin sırasını ve hafızadaki durumlarını gözlemlemişler ve herhangi bir kontrolün ana program tarafından çağırılan fonksiyona etkisini izlemişlerdir. Bu sistemde öğrenciler daha önceden yazılmış kodlar ile çalışma, bu kodları değiştirebilme ve kendilerine ait kodları yazabilme şeklinde çalışmalarda bulunmuşlardır. Lisans öğrenimi gören birinci sınıf düzeyinde 16 öğrenci ile gerçekleştirilen çalışmanın sonunda, geliştirilen sistem

hakkında öğrencilerin olumlu görüşlerinin olmasına rağmen sistemin öğrencilerin programlama yeteneklerine olumlu bir katkı sağlamadığı görülmüştür. [13] tarafından geliştirilen RAPTOR (Rapid Algorithmic Prototyping Tool for Ordered Reasoning) sistemi, öğrencilerin, herhangi bir programlama diline bağlı kalmadan, akış şemalarını kullanarak algoritma geliştirebilmelerine olanak sağlamaktadır. Lisans düzeyinde Bilgisayara Giriş dersini görmekte olan 1324 öğrencinin katılımıyla gerçekleştirilen araştırmada RAPTOR'un geliştirdiği sistem, Ada ve Matlab gibi görsel olmayan dillerle karşılaştırılmış ve yapılan deneylerin sonucuna göre, çalışmaya katılan öğrencilerin %95'i tarafından RAPTOR tercih edilmiştir. Algoritma görselleştirme sistemlerinden birisi de [14] tarafından geliştirilen, WYSIWYC (What you see is what you code – ne kodluyorsan onu görüyorsun) isimli sistemdir. Bu sistem, programlama öğrenimine ilk defa başlayan öğrenciler için geliştirilmiştir. Beş hafta olarak planlanan modelde algoritma konularını anlatımı canlı kod prensibine göre yapılmaktadır. Bu sebeple öğrenciler hatalarını anında görmektedirler. Ayrıca öğrencilerin yaptıkları hatalardan sonra onlara çözüm sunmak amacıyla bir geri bildirim sistemi de mevcuttur. Hata olduğunda devreye giren bu sistem öğrencileri doğru kod yazmaya yönlendirmektedir. Washington State Üniversitesi'nde bilgisayar bilimi kursu alan 21 öğrenci ile gerçekleştirilen çalışmada öğrencilerin yazdıkları kodlardaki hataları tanımlayıp, düzelttikten sonra yazdıkları kodu çalıştırdıkları gözlemlenmiştir. Ayrıca öğrencilerin öğretmenlerden yardım isteme, ders kitaplarına bakma ve kod yazarken uzun süreli düşünme davranışlarında azalmalar görülmüştür. Öğrencilerin kod yazamadığı durumlarda animasyonu izleme ve kullanma gibi etkinlikler yaptıkları görülmüştür. Sonuç olarak araştırmacılar algoritma görsellerinin kişisel öğrenmede önemli rol oynayabileceğini belirtmişlerdir [14]. [15] algoritmaları keşfetmek ve oyunlarla algoritmik düşünceyi geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, öğrencilerin karşılaştıkları herhangi bir problemin çözümü esnasında kademeli olarak düşünemedikleri ve problemin çözümüne yönelik bir algoritma oluşturamadıkları belirlenmiştir. Öğrencilerin problem çözme becerilerini, matematik gibi çeşitli problemlerin çözüldüğü alanlardan yeterli düzeyde kazanamadıkları belirtilerek, algoritmik düşünmenin soyut ve mantıksal düşünme, yapısal düşünme, yaratıcılık ve problem çözme yeteneği gibi insana özgü bilişsel faktörlerden etkilendiği ifade edilmiştir [15]. [16] tarafından bilgisayar programlama temel kavramlarının öğretimini yapmak amacıyla yapay zeka destekli akıllı bir yazılım geliştirilmiştir. Çalışmanın örneklemini bilgisayar programlamaya yönelik dersler alan 90 önlisans öğrencisi oluşturmuştur. Yapılan araştırmada geliştirilen akıllı yazılım sisteminin algoritma ve akış şeması kavramlarının öğretimi için etkili bir araç olarak kullanılabilmesi ve öğrencileri ileri düzeyde bilgisayar programlama konularına daha hazır hale getirebileceği sonuçlarına ulaşılmıştır. [17], beşinci ve altıncı sınıf olmak üzere toplam 138 öğrencinin algoritmik düşünme becerilerinin farklı değişkenlere göre incelenmesi amacıyla bir çalışma yapmıştır. Araştırmacılar tarafından geliştirilen Algoritmik Düşünme Testi çalışma grubundaki öğrencilere uygulanmıştır. Çalışmada, öğrencilerin algoritmik düşünme becerileri ve matematik başarıları arasında pozitif ama düşük bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Öğrencilerin cinsiyet ve sınıf düzeyine göre algoritmik düşünme becerileri arasında anlamlı farklılıklar olduğu ve bu farklılıkların sırasıyla kızlar ve altıncı sınıf öğrencileri lehine olduğu belirtilmiştir. [18], Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü ikinci sınıfında öğrenim gören 33 öğrenci ile yaptığı çalışmada, algoritma öğretimi için geleneksel çözümlü örnek ve karartılmış çözümlü örnek yöntemlerinin öğrencilerin başarılarına ve bilişsel yüklerine etkilerini incelemiştir. Yapılan araştırmanın sonucunda karartılmış çözümlü örnek yöntemi ile yapılan öğretimin, geleneksel çözümlü örnek yöntemi ile yapılan öğretime göre

öğrencilerin başarısında anlamlı etkisi olduğu belirlenmiştir. Her iki gruptaki öğrencilerin bilişsel yüklenme düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı görülmüştür. [19], 62 beşinci sınıf öğrencisi ile yaptıkları çalışmada, Scratch kullanımının algoritma geliştirme ve bilgi-işlemsel düşünme becerilerine etkisini incelemiştir. Çalışmada, beşinci sınıf bilişim teknolojileri ve yazılım dersinde altı haftalık sürede deney grubu öğrencileri ile Scratch programı kullanılarak algoritma konuları işlenirken, kontrol grubu öğrencileri ile geleneksel yöntemle işlenmiştir. Çalışmada, deney grubu öğrencilerinin algoritma geliştirme ve bilgi-işlemsel düşünme becerilerinin kontrol grubuna göre anlamlı derecede daha fazla yükseldiği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmacılar, Scratch programının algoritma geliştirme ve bilgi-işlemsel düşünme becerilerini geliştirmek amacıyla kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

Programlama ve algoritma ile ilgili öğrenci görüşlerine yer veren çalışmalar da bulunmaktadır. [20], Scratch kullanımı hakkında öğrencilerin deneyimlerini ve görüşlerini belirlemek amacıyla lisans ikinci sınıf düzeyinde bulunan 109 öğrencinin katılımıyla yaptığı çalışma sonucuna göre, öğrencilerin Scratch hakkında olumlu düşündükleri, tasarımı öğrenmenin kalıcı bir öğrenme sağladığı ve blog destekli öğretim yöntemi hakkında olumlu görüşleri olduğu ortaya çıkmıştır. [21], lisans düzeyinde Bilgisayar Bilimi dersinde kullanılan Scratch programlama dili ile ilgili öğrenci görüşlerini belirlemek amacıyla bir araştırma yürütmüştür. 25 öğrencinin katılımıyla yapılan çalışma sonucuna göre, katılımcıların %76'sı Scratch ile ilgili olumlu görüşler ifade etmişlerdir. [22], Scratch kullanımının bilişim teknolojileri öğretmen adaylarının bilgisayar programlama hakkındaki görüş ve tutumlarına etkisini ortaya çıkarmak amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Lisans düzeyindeki 35 öğrencinin katılımıyla yapılan çalışma sonucuna göre, katılımcılar Strach'ın programlama öğretimine yönelik olumlu katkılar sağlayacağı görüşünü belirtmişlerdir. [23], tarafından Finlandiya ilköğretim okullarında programlama becerilerinin öğretiminin ve öğreniminin rolünü ve önemini, 1-6. sınıf öğretmenlerinin bakış açısından belirlemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Sekiz öğretmen ile yarı yapılandırılmış görüşmeler yapıldığı çalışma sonucunda, öğretmenlerin programlama becerilerini öğrenme ve öğretmeyi öğrencilerinin geniş tabanlı öğrenmelerine bağlamak istedikleri, programlama becerilerini bir amaçtan çok araç olarak gördükleri, programlama becerilerinin öğrenilmesinin dijitalleşen dünyada bir zorunluluk olduğu ve programlama öğrenmenin öğrencileri mantıksal düşüncelerini geliştirmeye motive ettiği şeklinde görüşlerinin olduğu görülmüştür. [24], Bilgisayar Programcılığı öğrencilerinin algoritma kavramına ilişkin algılarını metafor analizi yoluyla inceleyerek ve ortaya çıkan metaforları ortak özellikleri açısından kavramsal olarak kategorize etmiştir. 372 önlisans öğrencisinin katılımı ile gerçekleştirilen araştırma sonucunda, öğrencilerin algoritma kavramını programlama sürecinde bir rehber ve yol gösterici olarak gördükleri ve onları hedeflerine götüren bir merdiven olarak algıladıkları görüşü ortaya çıkmıştır. [25], Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi bölümünde öğrenim gören 128 öğrenciye, Bilgisayar Programlamaya Karşı Tutum ölçeği uygulayarak öğrencilerin programlamaya karşı tutumlarını incelemiştir. Araştırma sonucunda katılımcıların programlamaya karşı olumlu tutumlarının yüksek düzeyde olduğu, tutumların cinsiyet ve mezun olunan lise türüne göre anlamlı farklılık göstermediği, sınıf düzeyine göre anlamlı bir farklılık gösterdiği bulgularına ulaşılmıştır. Çalışmada ayrıca katılımcılar ile odak grup görüşmesi yapılmıştır. Yapılan görüşmeler sonucunda algoritma öğretimi yapılırken uygulama yapılmaması, konuların kısa sürede işlenmesi ve öğrencilerin hazırbulunuşluk düzeylerinin dikkate alınmaması gibi problemler yüzünden programlama mantığını kavramakla ilgili sorunların olduğu tespit edilmiştir.

Katılımcıların algoritma öğretiminden beklentilerinin ise öğretim sürecinin daha görsel ve uygulamalı olması şeklinde olduğu belirlenmiştir. [26], programlama ve algoritma öğretiminin ters yüz sınıf yaklaşımı ile zenginleştirilmesine yönelik Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümünde öğrenim görmekte olan 94 birinci sınıf öğrencisi ile bir çalışma yapmıştır. Çalışmada ayrıca 32 öğrenci ile görüşme yapılmıştır. Öğrencilerle yapılan görüşmelere göre araştırmada uygulanan yaklaşımının öğrencilere birçok açıdan zenginlik sağladığı ve algoritma öğrenmede önemli katkılar getirdiği tespit edilmiştir. Yapılan görüşmelerde öğrencilerin derse hazırlanarak geldikleri; ders dışında iş birliği yaptıkları ve etkileşimin arttığı; konuların anlaşılmasının kolaylaştığı ve araştırmayı özendirdiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Literatürdeki araştırmalardan da görüldüğü gibi algoritmanın kolay öğrenilmesi üzerine birçok sistem geliştirilmiş ve bu sistemler ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu sistemlerde öğreticiler, programlamayı öğrencilerine farklı yöntemlerle öğretmeyi denemişlerdir. Yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere öğrencilerin algoritma öğrenimi hakkında bir takım kaygıları bulunmaktadır. Aynı zamanda öğrenciler algoritma ve programlama öğreniminde görsel öğeler içeren programların kullanılması hakkında olumlu görüşler belirtmişlerdir. Bu bağlamda yapılan bu çalışma ile öğrencilerin algoritma ve programlama öğreniminde yaşadıkları sorunlara dikkat çekilerek ileride yapılacak öğretim ortamlarının tasarlanmasında literatüre katkı sağlanacağı düşünülmüştür. Bu nedenle meslek yüksekokulu bilgisayar programcılığı programında öğrenim görmekte olan öğrencilerin, algoritma yazma ve öğrenimi hakkındaki görüşlerini belirlemek amacı ile bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir. Bu amaca ulaşmak için araştırmanın problemi “meslek yüksekokulu bilgisayar programcılığı programında öğrenim görmekte olan öğrencilerin, algoritma yazma ve öğrenimi hakkındaki görüşleri nasıldır?” şeklinde ifade edilmiştir. Araştırmanın alt problemleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- 1) Öğrencilerin algoritmanın tanımı ve ne amaçla kullanıldığı ile ilgili görüşleri nasıldır?
- 2) Öğrencilerin algoritma dersi hakkındaki görüşleri nasıldır? Derste en kolay ve zor öğrendikleri konular nelerdir ve bu konuda görüşleri nasıldır?
- 3) Öğrencilerin algoritma dersinin işleme biçimi hakkındaki görüşleri nasıldır?
- 4) Öğrencilerin algoritma derslerinde görselleştirme yapılmasını sağlayan programların kullanılması hakkındaki görüşleri nasıldır?
- 5) Öğrencilerin algoritma derslerinde bilgisayar laboratuvarının kullanılması hakkındaki görüşleri nasıldır?
- 6) Öğrencilerin algoritma derslerinde proje ödevlerinin verilmesi hakkındaki görüşleri nasıldır?

2. Yöntem

2.1. Araştırmanın modeli

Nitel araştırma desenlerinden olgubilim desenine göre yürütülen araştırmada veriler yarı yapılandırılmış görüşme yöntemi kullanılarak toplanmıştır. Nitel araştırmalar, olayların doğal ortamlarında gerçekçi ve bütüncül yaklaşımla ortaya konulduğu, gözlem, görüşme ve doküman incelemesi gibi nitel veri toplama yöntemlerinin kullanıldığı araştırmalardır. Olgubilim çalışmaları, günlük yaşantıda çeşitli şekillerde karşılaşılan deneyimler, olaylar, algılar, kavramlar ve durumlar hakkında derinlemesine ve ayrıntılı

bir anlayışa sahip olmak amacı ile gerçekleştirilen araştırmalardır [27]. Olgubilim araştırmalarında veri kaynakları, çalışmanın odaklandığı olguya ilişkin yaşantı ve anlamları ortaya koyabilecek kişi veya gruplar olduğundan başlıca veri toplama yönteminin görüşme olduğu belirtilmiştir. Yarı yapılandırılmış görüşme yöntemi esnek olduğu ve zengin veriler toplanmasına olanak sağladığı için nitel araştırmalarda tercih edilmektedir [27].

2.2. Araştırmanın katılımcıları

Katılımcılarının belirlenmesinde, amaçsal örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Bu örnekleme yönteminde, örneklemin araştırma problemiyle ilgili olarak belirlenen özellikleri taşıyan kişiler, olaylar, nesnelere ya da durumlardan oluşturulması söz konusudur [28]. Katılımcıları belirlemek için algoritma ve programlama ile ilgili dersleri almış olmaları, ölçüt olarak alınmıştır. Araştırmanın katılımcıları, 2016-2017 Eğitim-Öğretim Yılında Batı Anadolu'da bulunan bir üniversitenin meslek yüksekokulu bilgisayar programcılığı programının ikinci sınıfında öğrenim görmekte olan 38 öğrencidir. Katılımcıların demografik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların demografik özellikleri.

	Cinsiyet	Kadın	Erkek	Toplam
Mezun Olduğu Lise Türü	Endüstri Meslek Lisesi	12	19	31
	Anadolu Lisesi	1	1	2
	Sağlık Meslek Lisesi	-	1	1
	İmam Hatip Lisesi	1	1	2
	Düz Lise	-	2	2
	Toplam		14	24

2.3. Verilerin toplanması

Araştırmanın verilerini toplamak amacıyla yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır. Görüşme formunda, cinsiyet, mezun olunan lise türü, lisede öğrenim görülen bölüm, kişisel bilgisayarlarının olup olmadığı, sürekli kullanabilen İnternet bağlantılarının olup olmadığı şeklindeki demografik soruların yanı sıra algoritmanın tanımı ve amacı, algoritma dersi hakkındaki görüşleri, algoritma derslerinde en kolay ve zor öğrenilen konuları, algoritma derslerinin nasıl işlendiği, soyut olan işlemlerin somutlaştırılması, derslerde görselleştirmelerden yararlanılıp yararlanılmadığı, bilgisayar laboratuvarının kullanılma durumu, proje ödevlerinin yapılıp yapılmadığı ile ilgili görüşleri öğrenmek amacı ile sorulmuş sorulara yer verilmiştir.

Nitel araştırmada geçerlik, araştırmacının araştırdığı olguyu olduğu gibi ve olabildiğince objektif olarak betimlenmesi olarak tanımlanmıştır (Kirk ve Miller, 1986'den aktaran [27]). Araştırmanın geçerliğinin sağlanması için görüşme formundaki sorular hazırlanırken ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş ve sorular hazırlandıktan sonra bilgisayar ve öğretim teknolojileri eğitimi alanında uzman olan iki akademisyene incelenmiştir. Uzmanların yapmış oldukları öneriler doğrultusunda sorular düzenlenmiştir. Görüşmeler katılımcılarla yüz yüze gerçekleştirilmiş ve görüşmelerden elde edilen veriler yazılı hale getirilmiştir. Rast gele seçilen dört

katılımcıya yazılı hale getirilmiş görüşme verileri gösterilmiş ve doğruluğu teyit edilmiştir.

2.4. Verilerin çözümlenmesi ve yorumlanması

Görüşmelerden elde edilen verilerin analizi nitel veri analizi yöntemlerinden içerik analizi ile gerçekleştirilmiştir. İçerik analizi; görüşme sonucunda ortaya çıkan verilerin incelenip kodlandığı ve yapılan kodlamalara göre sınıflandırılarak oluşturulmuş birtakım temalara göre özetlenerek yorumlandığı, görüşülen kişilerin görüşlerini yansıtmak amacıyla alıntılarının kullanıldığı ve ulaşılan sonuçların neden-sonuç bağlamında açıklandığı analiz tekniğidir [27].

Çalışmada güvenilirliği belirlemek için rastgele seçilmiş beş katılımcının görüşme sorularına vermiş olduğu yanıtlardan elde edilmiş veriler ikinci araştırmacı tarafından kodlanmıştır. Kodlayıcılar arası uyum $\text{“Güvenirlilik}=\frac{\text{Görüş Birliği}}{\text{Görüş Birliği}+\text{Görüş Ayrılığı}}\times 100\text{”}$ formülü ile hesaplanmıştır. Buna göre, Güvenirlilik= $\frac{58}{72}\times 100=81\%$ olarak bulunmuştur. İki farklı kodlayıcının uyumunu için %70 üzerindeki değerlerin kodlayıcılar arası güvenirlilik için yeterli olduğu belirtilmiştir [29]. Ayrıca kodlayıcılar arası uyum için Kohen Kappa katsayısı hesaplanmış ve bu katsayı 0,83 olarak bulunmuştur. Kodlayıcılar arası uyumun yüksek düzeyde güvenilir kabul edilmesi için Kohen Kappa katsayısının 0,80 ve üzerinde olması gerektiği belirtilmiştir [30-31].

3. Bulgular

Araştırmada, katılımcılar ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen veriler içerik analizi ile incelenerek kodlanmış ve belirlenen kodlara göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

Araştırmanın birinci alt problemi olan “Öğrencilerin algoritmanın tanımı ve ne amaçla kullanıldığı hakkındaki görüşleri nasıldır?” sorusuna yanıt bulmak için katılımcılara “Sizce “algoritma” nedir? Ne amaçla kullanılır?” sorusu yöneltmiştir. Bu soruya verilen yanıtlar analiz edildiğinde katılımcılardan 22’sinin algoritmanın tanımını doğru olarak yaptığı, 9’unun algoritmanın tanımını kısmen doğru yaptığı, 7’sinin ise algoritmanın tanımını yanlış yaptığı görülmüştür. Algoritma tanımını doğru yapan öğrenciler “*Belli bir problemi çözme veya belirli bir amaca ulaşmak için tasarlanan yol*” (Katılımcı 15) şeklinde; kısmen doğru yapan öğrenciler “*Bir sorunu aşama aşama bölerek yapmaktır*” (Katılımcı 25) şeklinde; yanlış yapan öğrenciler ise “*Bilgisayarda kullanılan makine dilidir*” (Katılımcı 33) şeklinde yanıtlar vermiştir. Katılımcılardan 8’i “*Yapmamız gereken işlemi daha kolay tasarlamamıza yarar*” (Katılımcı 3) örneğindeki gibi algoritmanın kullanım amacını doğru olarak belirtmiştir.

Araştırmanın ikinci alt problemi olan “Öğrencilerin algoritma dersi hakkındaki görüşleri nasıldır? Derste en kolay ya da zor öğrendikleri konular nelerdir ve bu konuda görüşleri nasıldır?” sorusuna yanıt bulmak için katılımcılara ilk olarak “algoritma dersi hakkında ne düşünüyorsunuz?” sorusu sorulmuştur. Katılımcılardan 27’si algoritma dersinin gerekli olduğunu, 4’ü ise algoritma dersinin gereksiz olduğunu belirtmiştir. Algoritma dersinin zor bir ders olduğunu ifade eden katılımcı sayısı 15 iken, dersin kolay bir ders olduğunu ifade eden katılımcı sayısı ise 9 olmuştur. Algoritma dersinde başarılı olduğunu ifade eden katılımcı sayısı 10, derste başarısız olduğunu ifade eden katılımcı

sayısı ise 7'dir. Katılımcılara bu soru ile ilgili olarak "algoritma dersinde en kolay öğrendiğiniz konu ya da konular hangileridir? Sizce bu konuları neden kolay öğreniyor olabilirsiniz?" sorusu sorulmuştur. "Kolay öğrendiğim konu yok" şeklinde yanıt veren katılımcı sayısı 19 olmuştur. Katılımcıların kolay öğrendiklerini ifade ettikleri konu isimleri ve söz konusu yanıtı veren kişi sayıları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Katılımcıların kolay öğrendiklerini ifade ettikleri konular.

Konu ismi	Frekans (f)
Akış diyagramları	4
Değişkenler	4
Tasarım	3
Algoritmanın tanımı	2
Karar yapıları	2
Döngüler	2
Diziler	1
Fonksiyonlar	1

Tablo 2 incelendiğinde 4'er katılımcının akış diyagramları ve değişkenler konularını; 3 katılımcının tasarım konusunu; 2'şer katılımcının algoritmanın tanımı, karar yapıları ve döngüler konularını; 1'er katılımcının ise diziler ve fonksiyonlar konularını kolay öğrendiğini belirttiği görülebilir. Üç katılımcı konuları matematiksel ifadelerden oluştuğu için kolay bulduğunu, bir katılımcı ise matematik dışı konuları daha kolay öğrendiğini belirtmiş, diğerleri bir neden belirtmemiştir. Katılımcılara bu soru ile ilgili olarak ayrıca "Algoritma dersinde öğrenirken zorladığınız konu ya da konular hangisidir? Sizce bu konu ya da konuları öğrenirken neden zorlanıyor olabilirsiniz?" sorusu da sorulmuştur. Öğrenirken zorlandığı konu olmadığını belirten katılımcılar altı kişidir. Katılımcıların öğrenirken zorlandıklarını ifade ettikleri konu isimleri ve frekanslar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Katılımcıların öğrenirken zorlandıklarını ifade ettikleri konular.

Konu ismi	f
Kodlama	4
Döngüler	3
Akış şeması	2
Değişkenler	1
Diziler	1

Tablo 3 incelendiğinde, 4 katılımcının kodlama konusunda, 3 katılımcının döngüler konusunda, 2 katılımcının akış şeması konusunda ve 1'er katılımcının da değişkenler ile diziler konularında zorlandıklarını belirtmiş oldukları görülebilir. 5 katılımcı "konuları anlayamıyor olmayı", 3 katılımcı "dersi ilgi çekici bulmamayı", 2 katılımcı "problem çözümünde zorlanıyor olmayı", 2 katılımcı "çalışırken çok fazla hata ile karşılaşmıyor olmayı", 1 katılımcı "derslerin düz anlatım yöntemi ile işleniyor olmasını", 1 katılımcı ise "yeterince çalışmıyor olmayı", konuları öğrenirken zorlanma nedenleri olarak belirtmiş, diğerleri bir neden belirtmemiştir.

Araştırmanın üçüncü alt problemi olan “Öğrencilerin algoritma dersinin işlenme biçimi hakkındaki görüşleri nasıldır?” sorusuna yanıt bulmak için katılımcılara “Algoritma dersleriniz nasıl işleniyor? Dersler öğrencilerin aktif bir şekilde katılmasına imkân sağlayacak şekilde işleniyor mu?” soruları sorulmuştur. Yanıt olarak 11 katılımcı derslerin sunum etkinlikleri ile işlendiğini, 8 katılımcı derslerde uygulama etkinlikleri yapıldığını, 2’şer katılımcı tartışma yöntemi ve düz anlatım yöntemi ile ders işlendiğini ve 1’er katılımcı ise derslerde beyin fırtınası, soru-cevap ve kodlama etkinlikleri yapıldığını belirtmiştir. Aktif katılım hakkında ise 17 katılımcı derslere aktif katılım sağladığını, 11 katılımcı ise derslerde aktif katılım olmadığını belirtmiştir. Katılımcılara bu soru ile ilgili olarak “dersler nasıl işlenirse öğrenmekte zorlandığınız konuların öğrenilmesi kolaylaşabilir (Dersler hangi yöntemlerle işlense daha iyi olabilir)?” sorusu sorulmuştur. 17 katılımcı *bol uygulamalı* olarak işlenmesini, 9 katılımcı *“konuların daha basit olarak işlenmesi gerektiğini”*, 7 katılımcı *“görsel öğelerin daha çok kullanılması gerektiğini”*, 2 katılımcı derslerin *“birebir olarak işlenmesi gerektiğini”* ve 1 katılımcı da *“derslerin işlenmesinden memnun olduğunu”* belirtmiştir. Katılımcılara bu soru ile ilgili olarak “algoritma konuları işlenirken soyut olan işlemler nasıl somutlaştırılabilir?” sorusu da sorulmuştur. Katılımcılar bu soruya birden fazla alternatif görüş belirtmiştir. 21 katılımcı *“görselleştirme programlarının kullanılması gerektiğini”*, 18 katılımcı *“uygulamaların arttırması gerektiğini”*, 13 katılımcı *“günlük hayattan gerçek örneklerin verilmesi gerektiğini”*, 11 katılımcı *“program yazılması gerektiğini”*, 7 katılımcı *“sorulan soruyla ilgili olarak bir fikirlerinin olmadığını”*, 5 katılımcı *“öğretim materyali kullanılması gerektiğini”*, 3’er katılımcı *“oyunlaştırma, tekrar etme, robot programlama, proje ödevleri verme ve ilgi çekilerek ders işlenmesi gerektiğini”* ifade etmiştir.

Araştırmanın dördüncü alt problemi olan “Öğrencilerin algoritma derslerinde görselleştirme yapılmasını sağlayan programların kullanılması hakkındaki görüşleri nasıldır?” sorusuna yanıt bulmak için katılımcılara “Algoritma derslerinde görselleştirme yapılmasını sağlayan programlardan yararlanıyor musunuz? Algoritma derslerinde görselleştirme yapılması hakkında görüşleriniz nelerdir (derslerde görselleştirme yapılmasının konuları anlamınıza ve başarınıza etkisi nasıldır)?” sorusu sorulmuştur. 8 katılımcı görselleştirme yapılmasını sağlayan programlardan yararlandıklarını, 7 katılımcı ise görselleştirme yapılmasını sağlayan programlardan yararlanmadıklarını belirtmiştir. 28 katılımcı derslerde görselleştirme yapılmasının konuları anlamalarına ve başarılarını arttırmalarına olumlu ölçüde etkileyeceğini belirtmiştir, bir katılımcı ise derslerindeki başarısına etki etmeyeceğini belirtmiştir.

Araştırmanın beşinci alt problemi olan “Öğrencilerin algoritma derslerinde bilgisayar laboratuvarının kullanılması hakkındaki görüşleri nasıldır?” sorusuna yanıt bulmak için katılımcılara “Algoritma derslerinde bilgisayar laboratuvarının kullanılması hakkında görüşleriniz nelerdir?” sorusu sorulmuştur. Katılımcılar algoritma derslerinde bilgisayar laboratuvarını kullandıklarını belirtmiştir. 33 katılımcı derslerde bilgisayar laboratuvarını kullanmalarının başarılarını arttırdığını belirtmiştir, 2 katılımcı bilgisayar laboratuvarını kullanmalarının başarılarına etki etmediğini belirtmiştir. Üç katılımcı ise derslerde bilgisayar laboratuvarını kullanmalarının başarılarını arttırması hakkında görüş ifade etmemiştir.

Araştırmanın altıncı alt problemi olan “Öğrencilerin algoritma derslerinde proje ödevlerinin verilmesi hakkındaki görüşleri nasıldır?” sorusuna yanıt bulmak için katılımcılara “Algoritma derslerinde proje ödevleri yapıyor musunuz? Algoritma

derslerinde proje ödevleri yapma hakkında görüşleriniz nelerdir?” sorusu sorulmuştur. 26 katılımcı algoritma derslerinde proje ödevlerini yaptığını, 12 katılımcı ise algoritma derslerinde proje ödevlerini yapmadığını belirtmiştir. 23 katılımcı algoritma derslerinde proje ödevleri verilmesinin başarılarını arttırdığını, 15 katılımcı ise bu tür görevlerin başarılarını etkilemediğini belirtmiştir.

Katılımcılara ayrıca “Algoritma ve algoritma öğrenimi hakkında eklemek istediğiniz başka bir şey var mı? Açıklayınız.” sorusu sorulmuştur. Algoritma ve algoritma öğrenimi hakkında katılımcıların vermiş oldukları yanıtların kategorileri ve kişi sayıları Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Katılımcıların algoritma ve algoritma öğrenimi hakkındaki ek görüşleri.

Ek Görüş Türü	f
Görüş yok	17
Proje	4
Ders süresinin arttırılması	3
Görsellik içeren programlar	3
Problemin anlaşılması	2
Oyunlaştırma	2
Uygulamaların arttırılması	2
Konu anlatımında yavaşlık	1
Slaytların sıkıcılığı	1
Zor ödevler	1
Kitap ve kaynaklar	1
Matematiksel konular	1

Tablo 4 incelendiğinde, 17 katılımcı “eklemek istediği herhangi bir düşüncesi olmadığını”, 4 katılımcı “dersin proje tabanlı işlenmesi gerektiğini”, 3’er katılımcı “dersin haftalık ders saati süresinin arttırılmasının gerektiğini” ve “derslerde görsellik içeren programların kullanılmasının gerekli olduğunu” belirtmiştir. 2’şer katılımcı “problemin anlaşılmasından dolayı derste çok zorlandıklarını”, “dersin oyunlaştırma yapılarak işlenmesi gerektiğini”, “derste uygulamanın arttırılması gerektiğini” belirtmiştir. 1’er katılımcı “derslerde konu anlatımını yavaş bulduğunu”, “sürekli slaytlar ile dersleri işlemelerinin sıkıcı olduğunu”, “zor ödevler verildiğini”, “kitap ve kaynakların yetersiz olduğunu” ve “matematiksel konular olmasından dolayı derste zorlandığını” belirtmiştir.

4. Tartışma, sonuç ve öneriler

Bu araştırmada meslek yüksekokulu bilgisayar programcılığı programında öğrenim görmekte olan öğrencilerin, algoritma yazma ve öğrenimi hakkındaki görüşleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, öğrencilerin çoğunluğunun (N=22) algoritma tanımını doğru bir şekilde yapmış olduğu görülmüştür. Bu bulguya göre bilgisayar programcılığı programında öğrenim görmekte olan öğrencilerin algoritma kavramı hakkında bilgi sahibi olduğu sonucu çıkarılabilir. Öğrencilerin çoğunluğu (N=27) algoritma dersinin gerekli bir ders olduğunu belirtmiştir. [24] tarafından yapılan araştırma sonucunda, öğrencilerin algoritma kavramını programlama sürecinde bir rehber ve yol gösterici olarak gördükleri ve onları hedeflerine götüren bir merdiven

olarak algıladıkları görüşü ortaya çıkmıştır. Her iki araştırmada da ortaya çıkan benzer sonuçlara göre bilgisayar programcılığı öğrencilerinin programlamada algoritmanın önemi kavramış oldukları sonucu çıkarılabilir.

Öğrencilerin bir kısmı (N=15) algoritma dersini zor bir ders olarak gördüklerini ifade etmiştir. Bu sebeple derslerin daha basite indirgenmesi ve derslerde uygulamalara yer verilerek işlenmesini, bu uygulamaların algoritma sözcüklerinin görselleştirilmesini sağlayan programları içermesini ve haftalık ders saati sayısının artırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu sonuç, algoritma ve programlama derslerinin görselleştirme programları aracılığı ile uygulamalı olarak işlenmesi ve konuların işlenmesine daha fazla süre ayrılması gerektiği görüşünün ortaya çıktığı araştırmalarla [14, 20-22, 25] benzerlik göstermektedir. Buna göre algoritma konularının işlenmesi sırasında görselleştirme ve uygulama yapılmasını sağlayan yazılımlar ya da araçların kullanılmasının öğrencilerin konuyu daha iyi anlamalarına yardımcı olduğu sonucu çıkarılabilir.

Öğrenciler algoritma derslerinde bilgisayar laboratuvarını kullandıklarını belirtmiştir. Öğrencilerin çoğunluğu (N=33) derslerde bilgisayar laboratuvarının kullanılmasının başarılarını arttırdığı düşündüklerini ifade etmiştir. Öğrencilerin bir kısmı (N=26) algoritma derslerinde proje ödevleri gerçekleştirdiklerini ve bu görevlerin başarılarını arttırmaya önemli katkılar sağladığını belirtmişlerdir. Öğrenciler proje ödevlerinin mümkün olduğunca sık olarak verilmesinin öğrenmelerine katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Buradan algoritma derslerinin bilgisayar laboratuvarı kullanılarak işlenmesinin, öğrencilerin konuları uygulama yaparak daha iyi anlamalarına ve başarılarının artmasına katkı sağladığı; algoritma öğretimi esnasında öğrencilerin çeşitli projeler yapmasının, onların problem çözme becerilerinin gelişmesine yardımcı olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu sonucu destekleyen bir sonuca [15] de ulaşılmıştır.

Algoritma yazma sürecinin soyut işlemlerden oluşması, algoritma konularının öğrenilmesini zorlaştırmaktadır. Bu araştırmada ulaşılan sonuçlar ve literatürde yer alan araştırmalar ışığında algoritma derslerinde öğrencilerin soyut işlemleri somutlaştırmalarını sağlamak için görselleştirmeler içeren uygulamaların kullanılması, derslerin laboratuvar ortamında uygulamalı olarak uzun sürede işlenecek şekilde düzenlenmesi önerilebilir. Bu şekilde bir öğretim uygulaması tasarlanarak deneysel bir çalışma yapılarak çalışmaya katılan öğrencilerin uygulama hakkında görüşleri araştırılabilir.

Bu çalışma 38 kişi ile yapılmıştır. Çalışma sonuçlarının güvenilirliği için çalışma başka örnekleme de yapılabilir. Yapılacak bir başka çalışmada öğrencilerin algoritma yazma ve öğrenimi hakkındaki görüşlerini belirlemek amacı ile daha büyük bir örnekleme ölçek geliştirilebilir. Ölçek geliştirildikten sonra çok daha büyük bir örnekleme öğrencilerin algoritma yazma ve öğrenimi hakkındaki görüşleri belirlenebilir.

Kaynaklar

- [1] Herman, F.R., Donald J. D., & Robert, F. W., **Field and Computer Techniques for Stem Analysis of Coniferous Forest Trees**, Portland, Oregon: Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, (1975).

- [2] İşman, A., Bilgisayar ve eğitim, **Sakarya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi**, 2, 1-27, (2001).
- [3] Dönmez, O., Gelibolu, M. F., & İnceoğlu, M. M., Eğitim teknolojisinin yeni yüzü: Mobil öğrenme, **6th International Educational Technology Conference**, 19–21 Nisan 2006, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazimagusa/ Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, (2006).
- [4] Çölkesen, R., **Veri yapıları ve algoritmalar**, İstanbul: Papatya Yayıncılık, (2014).
- [5] Alkan, C., **Özel öğretim ilke ve yöntemleri: Özel öğretim teknolojileri**, Ankara: A.Ü.E.B.F. Yayınları, (1991).
- [6] Çilenti, K., **Eğitim teknolojisi ve öğretim** (geliştirilmiş dördüncü baskı), Ankara: Kadioğlu Matbaası, (1991).
- [7] Ülgen, G., **Eğitim psikolojisinde kavram geliştirme**, Ankara: H.Ü.E.F. Yayınları, (1988).
- [8] Winograd, E., & Soloway, R. M., On forgetting the locations of things stored in special places, **Journal of Experimental Psychology: General**, 115(4), 366-372, doi: 10.1037/0096-3445.115.4.366, (1986).
- [9] Çatlak, Ş., Tekdal, M., & Baz, F. Ç., Scratch yazılımı ile programlama öğretiminin durumu: Bir doküman inceleme çalışması, **Journal of Instructional Technologies and Teacher Education**, 4 (3), 13-25, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitte/issue/25088/264774>, (2015).
- [10] Hundhausen, C. D., Douglas, S. A., & Stasko, J. T., A meta-study of algorithm visualization effectiveness, **Journal of Visual Languages & Computing**, 13(3), 259–290, (2002).
- [11] Kuittinen, M., & Sajaniemi, J., Teaching roles of variables in elementary programming courses, **SIGCSE Bulletin**, 36(3), 57–61, (2004).
- [12] Rowe, G., & Thorburn, G., VINCE – An online tutorial tool for teaching introductory programming, **British Journal of Educational Technology**, 31(4), 359–369, (2000).
- [13] Carlisle, M. C., Wilson T. A., Humphries J. W., & Hadfield, S. M., RAPTOR: A visual programming environment for teaching algorithmic problem solving, **Proceedings of SIGCSE'05**, St. Louis, Missouri, USA, (2005).
- [14] Hundhausen, C. D., & Brown J. L., What you see is what you code: A “live” algorithm development and visualization environment for novice learners, **Journal of Visual Languages and Computing**, 18, 22–47, (2007).
- [15] Futschek, G., & Moschitz, J., Developing algorithmic thinking by inventing and playing algorithms, **Proceedings of Constructionist Approaches to Creative Learning Thinking and Education**, s. 1–10, Erişim adresi: http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_187461.pdf, (2010).
- [16] Köse, U., & Tüfekçi, A., Algoritma ve akış şeması kavramlarının öğretiminde akıllı bir yazılım sistemi kullanımı, **Pegem Eğitim ve Öğretim Dergisi**, 5(5), 569-586, doi: 10.14527/pegegog.2015.031, (2015).
- [17] Yavuz Mumcu, H., & Yıldız, S., The investigation of algorithmic thinking skills of 5th and 6th graders according to different variables, **MATDER Matematik Eğitimi Dergisi**, 3(2), 18-26, (2018).
- [18] Tepgeç, M., Algoritma öğretiminde çözümlü örnek kullanımının öğrenci başarısına ve bilişsel yüke etkileri (Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye), Erişim adresi: http://openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11655/5961/MustafaTepgec_YLTez.pdf?sequence=1&isAllowed=y, (2017).

- [19] Oluk, A., Korkmaz, Ö., & Oluk, H. A., Scratch'ın 5. sınıf öğrencilerinin algoritma geliştirme ve bilgi-işlemsel düşünme becerilerine etkisi, **Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)**, 9(1), 54-71, (2018).
- [20] Genç, Z., & Karakuş, S., Tasarımla öğrenme: eğitsel bilgisayar oyunları tasarımında Scratch kullanımı, **5th International Computer & Instructional Technologies Symposium (ICITS)**, 22-24 September 2011 Fırat University, Elazığ, Turkey, (2011).
- [21] Malan, D. J., & Leitner, H. H., Scratch for budding computer scientists. **ACM SIGCSE Bulletin** 39(1), 223-227, (2007).
- [22] Fesakis, G., & Serafeim, K., Influence of the familiarization with "scratch" on future teachers' opinions and attitudes about programming and ICT in education, **ACM SIGCSE Bulletin**, 41(3): 258-262, (2009).
- [23] Hiltunen, T., Learning and teaching programming skills in Finnish primary schools: The potential of games (Master's thesis, University of Oulu, Oulu, Finland), Erişim adresi: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-201605221873>, (2016).
- [24] Gökoğlu, S., Programlama eğitiminde algoritma algısı: Bir metafor analizi, **Cumhuriyet Uluslararası Eğitim Dergisi**, 6(1), 1-14, (2017).
- [25] Erol, O., & Kurt, A. A., BÖTE bölümü öğrencilerinin programlamaya karşı tutumlarının incelenmesi, **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi**, 1(41), 314-325, (2017).
- [26] Özyurt, Ö., & Özyurt, H., A qualitative study about enriching programming and algorithm teaching with flipped classroom approach, **Pegem Eğitim ve Öğretim Dergisi**, 7(2), 189-210, (2017).
- [27] Yıldırım, A., & Şimşek, H., **Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri** (6.baskı), Ankara: Seçkin Yayıncılık, (2008).
- [28] Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., & Demirel, F., **Bilimsel araştırma yöntemleri** (geliştirilmiş 2. baskı), Ankara: Pegem A Yayıncılık, (2008).
- [29] Miles, M. B., & Huberman, A. M., **Qualitative data analysis (2nd ed.)**, Thousand Oaks: Sage Publications, (1994).
- [30] Cohen, J., A coefficient of agreement for nominal scales, **Educational and Psychological Measurement**, 20, 37-46, (1960).
- [31] Graham, M., Milanowski, A., & Miller, J., Measuring and promoting inter-rater agreement of teacher and principal performance ratings, **Center for Educator Compensation Reform**, Erişim adresi: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED532068.pdf>, (2012).

A study on nonsymmetric cone normed spaces

Merve İLKHAN*

Düzce University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Düzce, Turkey.

Geliş Tarihi (Received Date): 24.09.2019

Kabul Tarihi (Accepted Date): 30.01.2020

Abstract

In the realms of theoretical computer science and approximation theory, asymmetric normed spaces play an important role. In this paper, by combining asymmetric norm and cone norm, it is defined asymmetric cone normed spaces. Also, it is introduced and studied some topological concepts in asymmetric cone normed spaces.

Keywords: *Asymmetric norm, cone norm, convergence, completeness.*

Simetrik olmayan konik normlu uzaylar üzerine bir çalışma

Öz

Teorik bilgisayar bilimi ve yaklaşım teorisi alanlarında asimetrik normlu uzaylar önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada asimetrik norm ve konik norm birleştirilerek asimetrik konik normlu uzaylar tanımlanmaktadır. Ayrıca asimetrik konik normlu uzaylarda bazı topolojik kavramlar tanıtılmakta ve çalışılmaktadır.

Anahtar kelimeler: *Asimetrik norm, konik norm, yakınsaklık, tamlık.*

1. Introduction and preliminaries

In [1], the authors introduced the cone metric spaces by means of a partial ordering on a Banach space with a cone. By defining convergence and completeness in these spaces, they prove some fixed point theorems to generalize the corresponding ones in metric spaces. Later, the authors of [2] gave some generalized topological concepts and definitions in cone metric spaces and proved that every cone metric space is a topological space.

* Merve İLKHAN, merveilkhan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0831-1474>

As a generalization of a norm, a cone norm is defined in [3,4] by replacing the set of real numbers with an ordered real Banach space. A real vector space with a cone norm is called a cone normed space. Cone normed spaces play an important role in fixed point theory, computer science and some other research areas of functional analysis.

Before giving the formal definition of a cone norm, we give some basic notions and results related to the topic.

Definition 1. [5] Let P be a subset of a real Banach space E . Then P is called a cone if the following conditions hold:

- P is closed, $P \neq \{\theta_E\}$ and $P \neq \emptyset$,
- $\alpha, \beta \in \mathbb{R}, \alpha, \beta \geq 0$ and $x, y \in P \Rightarrow \alpha x + \beta y \in P$,
- $x \in P$ and $-x \in P \Rightarrow x = \theta_E$, where θ_E denotes the zero vector of the real vector space E .

Example 1. [5]

1. Let $E = \mathbb{R}^n$. Then $P = \{(x_1, \dots, x_n) \in E : x_i \geq 0 \text{ for all } i = 1, \dots, n\}$ is a cone on E .
2. Let $E = C[a, b]$. Then $P = \{f \in E : f(x) \geq 0 \text{ for all } x \in [a, b]\}$ is a cone on E .
3. Let $E = \ell_p$ ($1 \leq p < \infty$). Then $P = \{(x_n) \in E : x_n \geq 0 \text{ for all } n \in \mathbb{N}\}$ is a cone on E .

Let P be a cone on a real Banach space E . For any $x, y \in E$, we mean

1. $x \leq y \Leftrightarrow y - x \in P$,
2. $x < y \Leftrightarrow y - x \in P, x \neq y$,
3. $x \ll y \Leftrightarrow y - x \in \text{Int}P$, where $\text{Int}P$ denotes the interior of P .

It is easy to see that \leq defines a partial ordering on E with respect to P . The cone P is called normal if there is a number $K > 0$ such that for all $x, y \in E, 0 \leq x \leq y \Rightarrow \|x\| \leq K \|y\|$, where K is called the normal constant of P . P is called minihedral cone if for any $x, y \in E, \sup\{x, y\}$ exists, or equivalently $\inf\{x, y\}$ exists.

Lemma 1. [2] Let P be a cone on a real Banach space E . For every $c \in E$ with $\theta_E < c$, there exists $\delta > 0$ such that $u \ll c$ whenever $u \in E$ with $\|u\| < \delta$.

Lemma 2. [2] Let P be a cone on a real Banach space E . For every $c_1, c_2 \in E$ with $\theta_E \ll c_1, c_2$, there exists $c \in E$ with $\theta_E \ll c$ such that $c \ll c_1, c_2$.

Lemma 3. [6] Let P be a cone on a real Banach space E . If $\theta_E \leq u \ll c$ for every $c \in E$ with $\theta_E \ll c$, then $u = \theta_E$.

In our proofs, we use the following two facts:

$$\lambda \in \mathbb{R}, \lambda \geq 0, x \leq y \Rightarrow \lambda x \leq \lambda y. \tag{1}$$

$$\lambda \in \mathbb{R}, \lambda > 0 \Rightarrow \lambda \text{Int}P \subset \text{Int}P. \tag{2}$$

Throughout the study, $(E, \|\cdot\|)$ is a real Banach space and P is a cone on E with

$\text{Int}P \neq \emptyset$.

Definition 2. [3,4] A cone norm on a real vector space X is a mapping $\|\cdot\|_c: X \rightarrow E$ such that

$$\theta_E \leq \|x\|_c$$

$$\|x\|_c = \theta_E \Leftrightarrow x = \theta_X$$

$$\|\alpha x\|_c = |\alpha| \|x\|_c$$

$$\|x + y\|_c \leq \|x\|_c + \|y\|_c$$

hold for all $x, y \in X$ and $\alpha \in \mathbb{R}$, where θ_X denotes the zero vector of X . The ordered pair $(X, \|\cdot\|_c)$ is called a cone normed space.

The study of asymmetric metrics goes back to Wilson [7] and then it became a subject of intensive research in the context of topology and theoretical computer science. Following his terminology, asymmetric metric is often called quasi metric. In the realms of pure and applied mathematics and materials science, there are many applications of asymmetric metric spaces.

An asymmetric norm is a positive definite sublinear functional on a real vector space. The definition is as follows:

Definition 3. [8] An asymmetric norm on real vector space X is a mapping $p: X \rightarrow \mathbb{R}$ such that

$$p(x) \geq 0$$

$$p(x) = p(-x) = 0 \Leftrightarrow x = \theta_X$$

$$p(\alpha x) = \alpha p(x)$$

$$p(x + y) \leq p(x) + p(y)$$

hold for all $x, y \in X$ and $\alpha \geq 0$. The ordered pair (X, p) is called an asymmetric normed space.

On the contrary to a norm, since the scalar multiplication is not continuous, an asymmetric norm does not induce a vector topology. An asymmetric norm defines an asymmetric metric which does not satisfy the symmetry condition of a metric. Hence one can obtain a topology induced by the asymmetric norm which is not necessarily Hausdorff. This innocent modification changes the whole theory, mainly related to completeness, compactness and totally boundedness. For instance, sequentially compactness and compactness are not the same notions contrary to the case of a normed space. Many authors have investigated the topological properties of asymmetric metric and related structures. We refer to [9-15] and references therein.

In this study, we give the definition of an asymmetric cone normed space as a generalization of the asymmetric normed space. Also, we introduce some topological concepts with basic results on asymmetric cone normed spaces.

2. Main results

In this section, we define asymmetric cone normed spaces and give some new results related to these spaces.

An asymmetric cone norm on a real vector space X is a mapping $p_c: X \rightarrow E$ satisfying the following conditions:

$$\theta_E \leq p_c(x)$$

$$p_c(x) = p_c(-x) = \theta_E \Leftrightarrow x = \theta_X$$

$$p_c(\alpha x) = \alpha p_c(x)$$

$$p_c(x + y) \leq p_c(x) + p_c(y)$$

for all $x, y \in X$ and $\alpha \geq 0$. The ordered pair (X, p_c) is called an asymmetric cone normed space.

The mapping $\bar{p}_c: X \rightarrow E$ defined by $\bar{p}_c(x) = p_c(-x)$ for all $x \in X$ is an asymmetric cone norm on X and called as the conjugate of asymmetric cone norm p_c .

Lemma 4. If P is a minihedral cone on E , then the mapping $p_c^s: X \rightarrow E$ defined by $p_c^s(x) = \sup\{p_c(x), \bar{p}_c(x)\}$ is a cone norm on X .

Proof. Clearly, $\theta_E \leq p_c(x), \bar{p}_c(x) \leq p_c^s(x)$ holds for every $x \in X$.

It can be easily seen that $p_c^s(x) = \theta_E \Leftrightarrow p_c(x) = p_c(-x) = \theta_E \Leftrightarrow x = \theta_X$.

Firstly, let $\alpha \geq 0$. By (1), we obtain $\alpha p_c(x), \alpha \bar{p}_c(x) \leq \alpha p_c^s(x)$ and so $p_c(\alpha x), \bar{p}_c(\alpha x) \leq \alpha p_c^s(x)$. This means that

$$p_c^s(\alpha x) \leq \alpha p_c^s(x). \tag{3}$$

Now, let $\alpha < 0$. It is clear that $p_c^s(-\alpha x) = \sup\{p_c(-\alpha x), \bar{p}_c(-\alpha x)\} = p_c^s(\alpha x)$. From (3), we obtain $p_c^s(-\alpha x) \leq -\alpha p_c^s(x) = |\alpha| p_c^s(x)$ or equivalently, $p_c^s(\alpha x) \leq |\alpha| p_c^s(x)$.

Hence, for $\alpha \neq 0$, we have $|\alpha| p_c^s(x) = |\alpha| p_c^s(\frac{1}{\alpha} \alpha x) \leq |\alpha| |\frac{1}{\alpha}| p_c^s(\alpha x) = p_c^s(\alpha x)$. Consequently, it follows that $p_c^s(\alpha x) = |\alpha| p_c^s(x)$ for all $\alpha \in \mathbb{R}$.

We have for all $x, y \in X$, $p_c(x + y) \leq p_c(x) + p_c(y) \leq p_c^s(x) + p_c^s(y)$ and $\bar{p}_c(x + y) \leq \bar{p}_c(x) + \bar{p}_c(y) \leq p_c^s(x) + p_c^s(y)$ which imply together that $p_c^s(x + y) \leq p_c^s(x) + p_c^s(y)$.

For $x \in X$ and $c \in E$ with $\theta_E \ll c$, we define the open and closed balls by:

$$B_{p_c}(x, c) = \{y \in X: p_c(y - x) \ll c\}$$

and

$$B_{p_c}[x, c] = \{y \in X: p_c(y - x) \leq c\},$$

respectively.

For an asymmetric cone norm p_c , one can define an asymmetric cone metric q_{p_c} by the formula $q_{p_c}(x, y) = p_c(y - x)$ ($x, y \in X$). Hence, a topology τ_{p_c} on X generated by the collection

$$\{B_{p_c}(x, c): x \in X, c \in E \text{ with } \theta_E \ll c\}$$

can be defined. That is, a set U in an asymmetric cone normed space X is open with respect to the topology τ_{p_c} if for all $x \in U$ there exists $c_x \in E$ with $\theta_E \ll c_x$ such that $B_{p_c}(x, c_x) \subset U$.

In the same way, another topology $\tau_{\bar{p}_c}$ on X generated by the collection

$$\{B_{\bar{p}_c}(x, c): x \in X, c \in E \text{ with } \theta_E \ll c\}$$

can be defined. U is open with respect to $\tau_{\bar{p}_c}$ if for all $x \in U$ there exists $c_x \in E$ with $\theta_E \ll c_x$ such that $B_{\bar{p}_c}(x, c_x) \subset U$.

Remark 1. The topology τ_{p_c} is not necessarily T_1 .

Example 2. Let $X = \mathbb{R}$, $E = \mathbb{R}^2$, $P = \{(x, y) \in E: x, y \geq 0\}$ and $p_c: X \rightarrow E$ defined by

$$p_c(x) = \begin{cases} (x, x), & \text{if } x > 0 \\ (0, 0), & \text{if } x \leq 0. \end{cases}$$

Then, the topology τ_{p_c} is not T_1 . In fact, given any $(c_1, c_2) \in E$ with $c_1, c_2 > 0$, we have $1 \in B_{p_c}(2, (c_1, c_2)) = (-\infty, c)$, where $c = \min\{c_1 + 2, c_2 + 2\}$. That is, there exists no neighbourhood of 2 with respect to τ_{p_c} which does not contain 1. Hence, τ_{p_c} cannot be T_1 .

Theorem 1. Let (X, p_c) be an asymmetric cone normed space. The topology τ_{p_c} is T_1 if and only if $\theta_E \ll p_c(x)$ for every $x \in X$, $x \neq \theta_X$.

Proof. \Rightarrow Let τ_{p_c} be T_1 . Then, given any $x \in X$ with $x \neq \theta_X$, there exist $c_x, c \in E$ with $\theta_E \ll c_x, c$ such that $\theta_X \notin B_{p_c}(x, c_x)$ and $x \notin B_{p_c}(\theta_X, c)$; that is, $\theta_E \ll c_x \leq p_c(-x)$ and $\theta_E \ll c \leq p_c(x)$.

\Leftarrow By hypothesis, we have $\theta_E \ll p_c(y - x)$ and $\theta_E \ll p_c(x - y)$ for every $x, y \in X$ with $x \neq y$. Then, we obtain that $y \notin B_{p_c}(x, c_x)$ and $x \notin B_{p_c}(y, c_y)$, where $c_x =$

$p_c(y - x)$ and $c_y = p_c(x - y)$, respectively. Hence, we conclude that τ_{p_c} is T_1 .

Lemma 5. $B_{p_c}(x, c)$ is open with respect to τ_{p_c} .

Proof. Let $y \in B_{p_c}(x, c)$. Then, we have $p_c(y - x) \ll c$. Put $c_y = c - p_c(y - x)$. If $z \in B_{p_c}(y, c_y)$, we obtain

$$p_c(z - x) \leq p_c(z - y) + p_c(y - x) \ll c_y + p_c(y - x) = c$$

which means $z \in B_{p_c}(x, c)$. Hence, we conclude that $B_{p_c}(x, c)$ is open with respect to τ_{p_c} since given any $y \in B_{p_c}(x, c)$ the inclusion $B_{p_c}(y, c_y) \subset B_{p_c}(x, c)$ holds for some $c_y \in E$ with $\theta_E \ll c_y$.

Lemma 6. $B_{p_c}[x, c]$ is closed with respect to $\tau_{\bar{p}_c}$.

Proof. Let $y \in X \setminus B_{p_c}[x, c]$. Then, we have $c \ll p_c(y - x)$. Put $c_y = p_c(y - x) - c$. If $z \in B_{\bar{p}_c}(y, c_y)$, we obtain

$$p_c(y - x) \leq p_c(y - z) + p_c(z - x) \ll c_y + p_c(z - x)$$

which implies $c = p_c(y - x) - c_y \ll p_c(z - x)$ and so $z \in X \setminus B_{p_c}[x, c]$. Hence, $X \setminus B_{p_c}[x, c]$ is open with respect to $\tau_{\bar{p}_c}$; that is $B_{p_c}[x, c]$ is closed with respect to $\tau_{\bar{p}_c}$.

Lemma 7. In an asymmetric cone normed space (X, p_c) , $B_{p_c}(x, c) = x + \|c\| B_{p_c}(\theta_E, e)$ and $B_{p_c}[x, c] = x + \|c\| B_{p_c}[\theta_E, e]$ hold for every $x \in X$ and $c \in E$ with $\theta_E \ll c$, where $e = \frac{c}{\|c\|}$.

Proof. Let $y \in B_{p_c}(x, c)$. Then, we have $p_c(y - x) \ll c$. From (2), we obtain $p_c(\frac{1}{\|c\|}(y - x)) \ll \frac{c}{\|c\|}$ which means that $\frac{1}{\|c\|}(y - x) \in B_{p_c}(\theta_E, e)$ and so $y \in x + \|c\| B_{p_c}(\theta_E, e)$, where $e = \frac{c}{\|c\|}$. Hence, we conclude that $B_{p_c}(x, c) \subset x + \|c\| B_{p_c}(\theta_E, e)$.

For the reverse inclusion, let $y \in x + \|c\| B_{p_c}(\theta_E, e)$ ($e = \frac{c}{\|c\|}$). Then, we write $y = x + \|c\| z$ for $z \in B_{p_c}(\theta_E, e)$ with $p_c(z) \ll \frac{c}{\|c\|}$. It follows that $p_c(y - x) = \|c\| p_c(z) \ll c$ and so $y \in B_{p_c}(x, c)$. Consequently, the inclusion $x + \|c\| B_{p_c}(\theta_E, e) \subset B_{p_c}(x, c)$ holds.

Theorem 2. The mapping p_c is upper semi continuous and lower semi continuous with respect to the topologies τ_{p_c} and $\tau_{\bar{p}_c}$, respectively.

Proof. Let $A = \{x \in X : p_c(x) \ll u\}$ for any $u \in E$. Choose $x \in A$ and put $c = u - p_c(x)$ which satisfies $\theta_E \ll c$. For $z \in B_{p_c}(x, c)$, we have

$$p_c(z) \leq p_c(z - x) + p_c(x) \ll c + p_c(x) = u$$

which means $z \in A$. Hence, the inclusion $B_{p_c}(x, c) \subset A$ holds. We conclude that A is

τ_{p_c} -open and so p_c is upper semi continuous with respect to τ_{p_c} .

Let $B = \{x \in X: u \ll p_c(x)\}$ for any $u \in E$. Choose $x \in B$ and put $c' = p_c(x) - u$ which satisfies $\theta_E \ll c'$. For $z \in B_{\bar{p}_c}(x, c')$, we have

$$p_c(x) \leq p_c(x - z) + p_c(z) = \bar{p}_c(z - x) + p_c(z) \ll c' + p_c(z)$$

and therefore

$$u = p_c(x) - c' \ll p_c(z)$$

which means $z \in B$. Hence, the inclusion $B_{\bar{p}_c}(x, c') \subset B$ holds. We conclude that B is $\tau_{\bar{p}_c}$ -open and so p_c is lower semi continuous with respect to $\tau_{\bar{p}_c}$.

Definition 4. A sequence (x_n) in an asymmetric cone normed space (X, p_c) is said to be left (right) p_c -convergent to $x \in X$ if for every $c \in E$ with $\theta_E \ll c$, there exists $n_c \in \mathbb{N}$ such that $p_c(x_n - x) \ll c$ ($p_c(x - x_n) \ll c$) for all $n \geq n_c$. We denote it by $x_n \xrightarrow{l} x$ ($x_n \xrightarrow{r} x$).

Remark 2. A sequence (x_n) in (X, p_c) is convergent to $x \in X$ with respect to the cone norm p_c^s if and only if it is left p_c -convergent and right p_c -convergent to x .

Lemma 8. Let (x_n) be a sequence in an asymmetric cone normed space (X, p_c) .

1. If (x_n) is left p_c -convergent to $x \in X$ and right p_c -convergent to $y \in X$, then $p_c(y - x) = \theta_E$.
2. If (x_n) is left p_c -convergent to $x \in X$ and $p_c(x - y) = \theta_E$, then (x_n) is also left p_c -convergent to $y \in X$.

Proof. By hypothesis, given any $c \in E$ with $\theta_E \ll c$ there exists $n_c \in \mathbb{N}$ such that $p_c(x_n - x) \ll \frac{c}{2}$ and $p_c(y - x_n) \ll \frac{c}{2}$ for all $n \geq n_c$. Hence, we obtain

$$\theta_E \leq p_c(y - x) \leq p_c(y - x_n) + p_c(x_n - x) \ll c.$$

From Lemma 3, we conclude that $p_c(y - x) = \theta_E$.

By hypothesis, given any $c \in E$ with $\theta_E \ll c$, there exists $n_c \in \mathbb{N}$ such that

$$p_c(x_n - y) \leq p_c(x_n - x) + p_c(x - y) \ll c$$

for all $n \geq n_c$ which means that (x_n) is left p_c -convergent to y .

Remark 3. As a result, it is clear that if a sequence (x_n) in an asymmetric cone normed space (X, p_c) is left p_c -convergent to $x \in X$, then x is not unique unlike in a cone normed space.

Lemma 9. Let (X, p_c) be an asymmetric cone normed space with a normal cone P on E and (x_n) be a sequence in X . (x_n) is left p_c -convergent to $x \in X$ if and only if $p_c(x_n - x) \rightarrow \theta_E$ as $n \rightarrow \infty$.

Proof. \Rightarrow Let $x_n \xrightarrow{l} x$. Given any $\varepsilon > 0$, choose $c \in E$ with $\theta_E \ll c$ such that $K \|c\| < \varepsilon$, where $K > 0$ is a normal constant. Then, there is $n_0 \in \mathbb{N}$ satisfying $\|p_c(x_n - x)\| \leq K \|c\| < \varepsilon$ for all $n \geq n_0$ which means $p_c(x_n - x) \rightarrow \theta_E$.

\Leftarrow Suppose that $p_c(x_n - x) \rightarrow \theta_E$. From Lemma 1, for $c \in E$ with $\theta_E \ll c$, there exists $\delta > 0$ such that $a \ll c$ whenever $\|a\| < \delta$. For this $\delta > 0$, there is $n_0 \in \mathbb{N}$ satisfying $\|p_c(x_n - x)\| < \delta$ for all $n \geq n_0$. It follows that $p_c(x_n - x) \ll c$ for all $n \geq n_0$ and so (x_n) is left p_c -convergent to x .

Example 3. Let $X = \mathbb{R}$, $E = \mathbb{R}^2$, $P = \{(x, y) \in E : x, y \geq 0\}$ and $p_c : X \rightarrow E$ defined by

$$p_c(x) = \begin{cases} (x, x), & \text{if } x > 0 \\ (0, 0), & \text{if } x \leq 0. \end{cases}$$

The sequence $((-1)^n)$ is left p_c -convergent to 1. Indeed, given any $(c_1, c_2) \in E$ with $(0, 0) \ll (c_1, c_2)$, we have $p_c((-1)^n - 1) = (0, 0)$ for all $n \in \mathbb{N}$. (Clearly, this sequence is not only left p_c -convergent to 1 but also left p_c -convergent to all $x > 1$.) Also, this sequence is right p_c -convergent to -1 since $p_c(-1 - (-1)^n) = (0, 0)$ for all $n \in \mathbb{N}$. By using Lemma 9, we conclude that it is not convergent with respect to the cone norm p_c^s since we have

$$p_c^s((-1)^n - x) = (|(-1)^n - x|, |(-1)^n - x|) \not\rightarrow (0, 0)$$

for any $x \in X$.

Definition 5. A sequence (x_n) in an asymmetric cone normed space (X, p_c) is said to be

1. p_c^s -Cauchy if for every $c \in E$ with $\theta_E \ll c$ there exists $n_c \in \mathbb{N}$ such that $p_c(x_n - x_m) \ll c$ for all $n, m \geq n_c$,
2. left (right) K -Cauchy if for every $c \in E$ with $\theta_E \ll c$ there exists $n_c \in \mathbb{N}$ such that $p_c(x_n - x_m) \ll c$ ($p_c(x_m - x_n) \ll c$) for all $n \geq m \geq n_c$,
3. weakly left (right) K -Cauchy if for every $c \in E$ with $\theta_E \ll c$ there exists $n_c \in \mathbb{N}$ such that $p_c(x_n - x_{n_c}) \ll c$ ($p_c(x_{n_c} - x_n) \ll c$) for all $n \geq n_c$,
4. left (right) p_c -Cauchy if for every $c \in E$ with $\theta_E \ll c$ there exist $n_c \in \mathbb{N}$ and $x \in X$ such that $p_c(x_n - x) \ll c$ ($p_c(x - x_n) \ll c$) for all $n \geq n_c$.

Remark 4. A sequence (x_n) in (X, p_c) is p_c^s -Cauchy if and only if it is left K -Cauchy and right K -Cauchy.

Remark 5. The following relations hold:

$$p_c^s\text{-Cauchy} \Rightarrow \text{left (right) } K\text{-Cauchy} \Rightarrow \text{weakly left (right) } K\text{-Cauchy} \Rightarrow \text{left (right) } p_c\text{-Cauchy}$$

Example 4. Let $X = \mathbb{R}$, $E = \mathbb{R}^2$, $P = \{(x, y) \in E : x, y \geq 0\}$ and $p_c : X \rightarrow E$ defined by

$$p_c(x) = \begin{cases} (1, 1), & \text{if } x > 0 \\ (0, 0), & \text{if } x \leq 0. \end{cases}$$

The sequence $(x_n) = (1,0,1,0,\dots)$ is weakly left K -Cauchy. Indeed, given any $(c_1, c_2) \in E$ with $(0,0) \ll (c_1, c_2)$, we have $p_c(x_n - x_1) = (0,0) \ll (c_1, c_2)$ for all $n \geq 1$. But, it is not left K -Cauchy due to the fact that for $n > m$, we have $p_c(x_n - x_m) = (1,1) \not\ll (\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$, where n is odd and m is even.

Definition 6. Let (X, p_c) be an asymmetric cone normed space.

1. If every left p_c -Cauchy sequence in X is left p_c -convergent, then X is called left p_c -sequentially complete asymmetric cone normed space.
2. If every weakly left K -Cauchy sequence in X is left p_c -convergent, then X is called weakly left K -sequentially complete asymmetric cone normed space.
3. If every left K -Cauchy sequence in X is left p_c -convergent, then X is called left K -sequentially complete asymmetric cone normed space.
4. If every p_c^s -Cauchy sequence in X is left p_c -convergent, then X is called p_c -sequentially complete asymmetric cone normed space.

Theorem 3. Let (x_n) be a left K -Cauchy sequence in an asymmetric cone normed space (X, p_c) .

1. If (x_n) has a left p_c -convergent subsequence, then (x_n) is left p_c -convergent to the same point.
2. If (x_n) has a right p_c -convergent subsequence, then (x_n) is right p_c -convergent to the same point.

Proof. 1. Suppose that (x_n) is a left K -Cauchy sequence in (X, p_c) and the subsequence (x_{n_k}) is left p_c -convergent to $x \in X$. Then, given any $c \in E$ with $\theta_E \ll c$ there exists $n_c \in \mathbb{N}$ such that $p_c(x_n - x_m) \ll \frac{c}{2}$ for all $n \geq m \geq n_c$. Choose $k_0 \in \mathbb{N}$ such that $n_{k_0} \geq n_c$ and $p_c(x_{n_{k_0}} - x) \ll \frac{c}{2}$ for all $k \geq k_0$. It follows that

$$p_c(x_n - x) \leq p_c(x_n - x_{n_{k_0}}) + p_c(x_{n_{k_0}} - x) \ll c$$

for $n \geq n_{k_0}$.

2. Now, suppose that the subsequence (x_{n_k}) is right p_c -convergent to $x \in X$. Choose $k_0 \in \mathbb{N}$ such that $n_k \geq n \geq n_c$ and $p_c(x - x_{n_k}) \ll \frac{c}{2}$ for all $k \geq k_0$. Then, we have

$$p_c(x - x_n) \leq p_c(x - x_{n_k}) + p_c(x_{n_k} - x_n) \ll c.$$

Corollary 1. If (x_n) is a left K -Cauchy sequence in an asymmetric cone normed space (X, p_c) and the subsequence (x_{n_k}) is convergent to $x \in X$ with respect to the cone norm p_c^s , then (x_n) is convergent to $x \in X$ with respect to the cone norm p_c^s .

Proof. Let (x_n) be a left K -Cauchy sequence in (X, p_c) . Suppose that there is a subsequence (x_{n_k}) of (x_n) such that (x_{n_k}) is convergent to $x \in X$ with respect to the cone norm p_c^s . By Remark 2, we have $x_{n_k} \xrightarrow{l} x$ and $x_{n_k} \xrightarrow{r} x$. The last theorem implies that $x_n \xrightarrow{l} x$ and $x_n \xrightarrow{r} x$. Again by Remark 2, it follows that (x_n) is convergent to x with respect to p_c^s .

Theorem 4. Let (x_n) be a sequence in an asymmetric cone normed space (X, p_c) . If

$$\sum_{n=1}^{\infty} \| p_c(x_{n+1} - x_n) \| < \infty$$

holds, then (x_n) is a left K -Cauchy sequence in X .

Proof. Let $c \in E$ with $\theta_E \ll c$. From Lemma 1, we can find a $\delta > 0$ such that $a \ll c$ holds for every $a \in E$ with $\| a \| < \delta$. By hypothesis, for this $\delta > 0$, there exists $n_0 \in \mathbb{N}$ such that

$$\sum_{i=0}^{\infty} \| p_c(x_{n_0+i+1} - x_{n_0+i}) \| < \delta.$$

Hence, we have

$$\| p_c(x_{n+k} - x_n) \| \leq \sum_{i=0}^{k-1} \| p_c(x_{n+i+1} - x_{n+i}) \| < \delta$$

which implies that $p_c(x_{n+k} - x_n) \ll c$ for all $n \geq n_0$ and $k \in \mathbb{N}$. This means that (x_n) is a left K -Cauchy sequence in X .

Theorem 5. Let P be a normal cone with normal constant K . The asymmetric cone normed space (X, p_c) is left K -sequentially complete if and only if the sequence $(X_n) = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$ is left p_c -convergent in X whenever (x_n) is a sequence in X such that $\sum_{n=1}^{\infty} \| p_c(x_n) \| < \infty$.

Proof. (\Rightarrow) Suppose that X is left K -sequentially complete. Given any $c \in E$ with $\theta_E \ll c$, choose $\delta > 0$ as in the proof of the previous theorem. If (x_n) is a sequence in X such that $\sum_{n=1}^{\infty} \| p_c(x_n) \| < \infty$ holds, then there exists $n_0 \in \mathbb{N}$ satisfying $\sum_{i=0}^{\infty} \| p_c(x_{n_0+i}) \| < \delta$. Hence, we have

$$\| p_c(X_{n+k} - X_n) \| \leq \sum_{i=1}^k \| p_c(x_{n+i}) \| < \delta$$

which implies that $p_c(X_{n+k} - X_n) \ll c$ for all $n \geq n_0$ and $k \in \mathbb{N}$. This means that (X_n) is a left K -Cauchy sequence in X . By left K -sequentially completeness of X , the sequence (X_n) is left p_c -convergent in X .

(\Leftarrow) Take a left K -Cauchy sequence (x_n) in X . Then, for $e \in \text{Int}P$ with $\| e \| = 1$, there exists $n_1 \in \mathbb{N}$ such that $p_c(x_n - x_m) \ll \frac{e}{2}$ for all $n \geq m \geq n_1$. Choose $n_2 \in \mathbb{N}$ such that $n_2 > n_1$ and $p_c(x_n - x_m) \ll \frac{e}{2^2}$ for all $n \geq m \geq n_2$. Continuing in this manner, we obtain an increasing sequence of natural numbers $n_1 < n_2 < \dots$ satisfying $p_c(x_{n_{i+1}} - x_{n_i}) \ll \frac{e}{2^i}$ for all $i \in \mathbb{N}$. Hence, we obtain $\sum_{i=1}^{\infty} \| p_c(x_{n_{i+1}} - x_{n_i}) \| \leq K < \infty$. By hypothesis, the sequence $((x_{n_2} - x_{n_1}) + (x_{n_3} - x_{n_2}) + \dots + (x_{n_{k+1}} - x_{n_k})) = (x_{n_{k+1}} - x_{n_1})$ is left p_c -convergent to some $y \in X$ which implies that the subsequence

(x_{n_k}) is left p_c -convergent to $y + x_{n_1}$. From Theorem 3, (x_n) is also left p_c -convergent to $y + x_{n_1}$ and so X is left K -sequentially complete.

Theorem 6. An asymmetric cone normed space (X, p_c) is weakly left K -sequentially complete if and only if it is left K -sequentially complete.

Proof. (\Rightarrow) Since a left K -Cauchy sequence is also a weakly left K -Cauchy sequence, then it is obvious that weakly left K -sequentially completeness of X implies its left K -sequentially completeness.

(\Leftarrow) Now, suppose that X is left K -sequentially complete asymmetric cone normed space. Let (x_n) be a weakly left K -Cauchy sequence in X . For $e \in \text{Int}P$ with $\|e\| = 1$, choose the smallest natural number n_1 satisfying $p_c(x_n - x_{n_1}) \ll e$ for all $n \geq n_1$. If $p_c(x_n - x_{n_1}) = \theta_E$ for all $n \geq n_1$, then we have $x_n \xrightarrow{l} x_{n_1}$ which completes the proof.

If $\theta_E \ll p_c(x_{m_1} - x_{n_1})$ for some $m_1 > n_1$, then from Lemma 2 there exists $k_2 \in \mathbb{N}$ such that

$$\frac{e}{k_2} \ll p_c(x_{m_1} - x_{n_1}) \ll e.$$

Let n_2 be the smallest natural number satisfying $p_c(x_n - x_{n_2}) \ll \frac{e}{k_2}$ for all $n \geq n_2$. Similarly, suppose that $\theta_E \ll p_c(x_{m_2} - x_{n_2})$ for some $m_2 > n_2$, then from Lemma 2 there exists $k_3 \in \mathbb{N}$ such that

$$\frac{e}{k_3} \ll p_c(x_{m_2} - x_{n_2}) \ll \frac{e}{k_2}.$$

By continuing the same process, we obtain increasing sequences of natural numbers $1 = k_1 < k_2 < \dots$ and $n_1 < n_2 < \dots$ such that $p_c(x_n - x_{n_i}) \ll \frac{e}{k_i}$ for all $n \geq n_i$ and $i \in \mathbb{N}$. The subsequence (x_{n_i}) constructed in this way is a left K -Cauchy sequence. In fact, given any $c \in E$ with $\theta_E \ll c$, we can find $i_0 \in \mathbb{N}$ such that $\frac{e}{k_{i_0}} \ll c$ and so $p_c(x_{n_i} - x_{n_j}) \ll c$ for all $i \geq j \geq i_0$. Since X is left K -sequentially complete, (x_{n_i}) is left p_c -convergent to some $x \in X$. Also,

$$p_c(x_n - x) \leq p_c(x_n - x_{n_i}) + p_c(x_{n_i} - x) \ll c$$

holds for sufficiently large $i \in \mathbb{N}$. Hence, we conclude that given any weakly left K -Cauchy sequence in X is left p_c -convergent which means X is weakly left K -sequentially complete.

References

- [1] Long-Guang, H. and Xian, Z., Cone metric spaces and fixed point theorems of contractive mappings, **Journal of Mathematical Analysis and Applications**,

- 332, 1468-1476, (2007).
- [2] Türkoğlu, D. and Abuloha, M., Cone metric spaces and fixed point theorems in diametrically contractive mappings, **Acta Mathematica Sinica, English Series**, 26, 3, 489-496, (2010).
- [3] Abdeljawad, T., Türkoğlu, D. and Abuloha, M., Some theorems and examples of cone Banach spaces, **Journal of Computational Analysis and Applications**, 12, 4, 739-753, (2010).
- [4] Gordji, M. E., Ramezani, M. Khodaei H. and Baghani, H., Cone normed spaces, **Caspian Journal of Mathematical Sciences**, 1, 1, 7-12, (2012).
- [5] Deimling, K., **Nonlinear functional analysis**, Springer-Verlag, Berlin, (1985).
- [6] Radenovic, S. and Kadelburg, Z., Quasi-contractions on symmetric and cone symmetric spaces, **Banach Journal of Mathematical Analysis**, 5, 38-50, (2011).
- [7] Wilson, W. A., On quasi metric spaces, **American Journal of Mathematics**, 53, 675-684, (1931).
- [8] Garcia-Raffi, L. M., Compactness and finite dimension in asymmetric normed linear spaces, **Topology and Its Applications**, 153, 844-853, (2005).
- [9] Alegre, C., Ferrando, I., Garcia-Raffi, L. M. And Sanchez Perez, E. A., Compactness in asymmetric normed spaces, **Topology and Its Applications**, 155, 6, 527-539, (2008).
- [10] Cobzas, S., **Functional analysis in asymmetric normed spaces**, Birkhauser, (2012).
- [11] Collins J. and Zimmer, J., An asymmetric Arzela Ascoli theorem, **Topology and Its Applications**, 154, 2312-2322, (2007).
- [12] İlkhán, M., Zengin Alp, P. and Kara, E. E., On the spaces of linear operators acting between asymmetric cone normed spaces, **Mediterranean Journal of Mathematics**, 15, 136, 12 pages, (2018).
- [13] Kelly, J. C., Bitopological spaces, **Proceedings of the London Mathematical Society**, 13, 1, 71-89, (1963).
- [14] Reilly, I. L., Subrahmanyam, P. V. And Vamanamurthy, V. K., Cauchy sequences in quasi-pseudo-metric spaces, **Monatshefte für Mathematik**, 93, 127, 127-140, (1982).
- [15] Romaguera, S., Left K -completeness in quasi metric spaces, **Mathematische Nachrichten**, 157, 15-23, (1992).

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ
MAKALE YAZIM KURALLARI

- Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology) bütün Fen, Mühendislik ve Mimarlık Anabilim Dallarını ilgilendiren konulardaki önemli, özgün, kaliteli araştırma ve çalışma makalelerini yayımlayan **hakemli ve bilimsel** bir dergidir. Ocak ve Temmuz aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanır.
- Dergide yayımlanan makaleler başka hiçbir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile **mutlaka belirtilmelidir**.
- Dergi yazım kuralları aynı zamanda baskı formatıdır.** Bu nedenle yazım kurallarının yazar veya yazarlarca dikkatle uygulanması gerekmektedir. Yazım kurallarına uygun olmayan yazılar, yazarlara geri gönderilecektir. **Göstereceğiniz ilgi için teşekkür ederiz.**

Sayfa boyutu, sayısı ve kenar boşlukları	A4 formatında, en fazla (eğer mümkünse) 12 sayfa olmalıdır. Sol ve Sağ : 3 cm, Üst ve Alt: 2,5 cm.
Sayfa numaraları	Sayfa numaraları sayfa altında ve ortada verilmelidir.
Satır boşlukları	Bütün satır boşlukları Times New Roman karakterinde ve 12 punto olmalıdır.
Metin	Times New Roman karakterinde 12 punto ile, sağa ve sola dayalı olarak tek aralıklı yazılmalıdır. Noktadan sonra 2 boşluk, virgülden sonra 1 boşluk bırakılmalıdır.

Paragraf	Her paragraf arasında bir satır boşluk bırakılmalı, paragraf başlarında içerden başlanmamalıdır (Tab tuşu kullanılmamalıdır).
Makale başlığı	Sayfa başından 5 satır boşluk bırakıldıktan sonra, Times New Roman, 20 punto (koyu olmayacak) ile başlığın sadece ilk harfi büyük olacak şekilde sayfa ortalanarak yazılmalıdır.
Yazar adı veya adları	Başlıktan sonra 2 satır boşluk bırakılarak, ünvan belirtilmeden, Adın ilk harfi ve SOYAD'ın tamamı büyük harf ile, birden fazla yazarlarda aralarına virgöl konularak, Times New Roman, 12 punto, koyu ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır.
Yazarın/ların adresi/leri	Yazar adının hemen altına boşluk bırakılmadan, Times New Roman, 10 punto ve <i>italik</i> olarak yazılmalıdır. Adresleri aynı olan yazarlar için tek adres, farklı yazar adresleri alt alta boşluk bırakılmadan yazılmalıdır.
İletişim yazarının bilgileri	Bütün yazarlar için Sorumlu yazar ilk sırada olacak şekilde; Ünvanlı Ad SOYAD, e-mail adresi, ORCID ID numarası (http://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx .) aralarına virgöl konularak 1. sayfanın altına dipnot olarak, Times New Roman, 10 punto ile yazılmalıdır.
Türkçe özet	Adres/ler den 3 satır boşluk bırakıldıktan sonra, Özet kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 12 punto, koyu ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. <i>Özet metni</i> Times New Roman yazı karakterinde, 12 punto ve <i>italik</i> olarak yazılmalıdır. Özet metninin 200 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Özet kelimesi ile özet metni arasında bir satır boşluk bırakılmalıdır.
Anahtar kelimeler Keywords	Anahtar kelimeler: ve Keywords: kelimeleri Türkçe özetin ve İngilizce özetin altına bir satır boşluk bırakılarak, Times New Roman, 12 punto, koyu ve <i>italik</i> olarak yazılmalıdır. En az 3 en fazla 6 adet anahtar kelime verilmeli, anahtar kelimelerin birincisinin ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle ve aralarına virgöl konularak verilmelidir.

İngilizce başlık ve Abstract	Türkçe anahtar kelimelerin altına 2 satır boşluk bırakılarak, Times New Roman, 16 punto (koyu olmayacak) ile başlığın sadece ilk harfi büyük olacak şekilde sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Abstract, Türkçe özet formatında yazılmalıdır.
Ana başlıklar	Ana Başlıklar sırasıyla numaralandırılmalıdır (1. Giriş 2. Deneysel çalışmalar gibi). Tüm başlıklar sola dayalı Times New Roman, 12 punto, koyu ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Ana başlıklardan önce 2 satır, sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır.
Alt başlıklar	Alt başlıklar ana başlık numarasına uygun olarak numaralandırılmalıdır. Tüm alt başlıklar sola dayalı Times New Roman, 12 punto, koyu ve italik olarak sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır (2.1. Malzeme 2.2. Isıl işlemler gibi). Alt başlıklardan önce tek satır boşluk bırakılmalı, sonra ise boşluk bırakılmadan metine geçilmelidir.
Şekiller Resimler Fotoğraflar	Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak, net ve okunaklı olmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Şekil no ve adları şeklin altında ortalanarak ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olarak verilmelidir. Şekiller ya bir çizim programı ile çizilmiş olmalı ya da en az 300 dpi çözünürlükte taranmış olmalıdır. Şekil olarak gösterilen grafik, resim ve metin kutularında yer alan yazı ve sayıların büyüklüğü makale içinde Times New Roman karakteri ile yazılmış 9 punto boyutundaki bir yazının büyüklüğünden az olmamalıdır. Şekilden önce, şekil adından önce ve sonra birer satır boşluk bırakılmalıdır. Şekiller metin içine yerleştirilirken mutlaka şekilden önce atıfta bulunulmalıdır.

Tablolar	<p>Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak konulmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Tablo no ve adları, tablonun üstünde tek satır boşluk ile sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde ortalanarak yazılmalıdır. Tablo adı yazılırken üstte ve altta birer satır, tablodan sonra yine bir satır boşluk bırakılmalıdır. Tablolara tablodan önce mutlaka metin içerisinde atıfta bulunulmalıdır. Tablo satır ve sütunlarındaki rakam ve yazılar Times New Roman 12 punto ile yazılmalıdır. Ancak zorunlu kalınan durumlarda yazı boyutu yazı sınırlarını geçmeyecek şekilde en az 9 puntoya kadar düşürülebilir.</p>
Denklemler	<p>Metin içerisine yazılacak denklemler, word yazım programındaki denklem editörü ile sola dayalı olarak yazılmalı ve eşitliklere sağa dayalı olarak parantez içerisinde sıra ile numara verilmelidir.</p>
Semboller	<p>Makale çok sayıda sembol içeriyor ya da makaledeki sembollerin açıklanması gerekiyorsa uluslararası standarda uygun olarak, semboller, kaynaklardan önce, Times New Roman 12 punto ile italik yazılmalıdır. Makalede ondalık gösterimde nokta kullanılmalı, binlikleri ayırırken virgül veya nokta kullanılmamalı gerekiyorsa tek boşluk kullanılmalıdır.</p>
Kaynaklar	<p>Kaynaklar metin içerisinde sıra ile numaralandırılmalıdır. Makalenin sonunda bulunan kaynaklar bölümündeki sıralama, metinde verilen sıraya uygun olarak yapılmalıdır.</p> <p>Atıfta bulunulan kaynaklar; ya [1]. şeklinde cümlelerin sonunda ya da [1], şeklinde cümle içinde verilmelidir. İki veya daha fazla kaynak yazarken verilecek kaynaklar sıralı ise [1,2,3,4] şeklinde değil, [1-4] şeklinde verilmelidir. Sıralı değil ise [8,11,15] şeklinde verilmelidir.</p> <p>Kaynaklar, Times New Roman 12 punto ile yazılmalı, sadece dergi, kitap ya da sempozyum adı kalın yazılmalıdır. Kaynaklar kısmında yer alan ulusal-uluslararası makalelerin yer aldığı dergi adları kısaltılmış halleriyle değil, açık olarak yazılmalıdır (örnek: dergi adı Wat. Res. şeklinde değil Water Resources şeklinde yazılmalı).</p>

Ulusal - Uluslararası Makaleler

- [1] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flocculation and sedimentation of high turbidity water, **Water Resources**, 25, 9, 1137-1143, (1998).

Ulusal - Uluslararası Bildiriler

- [2] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flocculation and sedimentation of high turbidity waters, **Proceedings, 9th Biennial Conference**, International Association on Water Quality, 1137-1143, Vancouver, (1998).

Ulusal - Uluslararası Kitap

- [3] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., **Flocculation and sedimentation**, 295, Technomics Press, Lancaster PA, (1998).

Kitap İçinde Bölüm

- [4] Blackburn, T., **Flocculation and sedimentation** in Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Physical Processes, Technomics Press, 29-45, Lancaster PA, (1998).

Editörlük

- [5] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., **Flocculation and sedimentation**, 295, Technomics Press, Lancaster PA, (1998).

Makaleler

- [6] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, **Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi**, 7, 4, 26-32, (1998).
- [7] Snell, F. D. ve Ettre, L. S., **Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis**, 14, Interscience, New York, (1971).

Basılmış Bilimsel Rapor

- [8] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., The effect of velocity gradient in flocculation, Technical Report, NATO Science for Stability Programme, 150, Brussels, (1998).

Mesleki Teknik Rapor

- [9] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, Teknik Rapor 45, İTÜ Geliştirme Vakfı, İstanbul, (1998).
-

Doktora, Y.Lisans Tezi

- [10] Türker, K., Yapıların deprem davranışının belirlenmesi için çok modlu uyarlamalı yük artımı yöntemi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (2005).

Standartlar

- [11] TS825, Binalarda ısı yalıtım kuralları, **Türk Standartları**, Ankara, (1998).

Güncel Yazı

- [12] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, **Bilim ve Teknik**, 363, 8, 23–45, (1998).
- [13] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, **Milliyet Gazetesi**, sf.2, 3, 24, (1998).

Web adresleri

- [14] Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., Flokülasyona hız gradyanı etkisi, (1998). <http://www.server.com/projects/paper2.html>, (20.05.2004).
-