

ISSN 1012-2354



ERCIYES ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ

ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

*Erciyes University
Journal of
the
Institute
of
Science and Technology*

Cilt (Vol.): 36

Sayı (No):3



ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ
Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology

ISSN: 1012-2354



Genel Yayın Yönetmeni

Prof. Dr. Recai KILIÇ, Erciyes Üniversitesi

İmtiyaz Sahibi

Prof. Dr. Mustafa ÇALIŞ, Erciyes Üniversitesi

Editör

Prof.Dr. Mehmet AKKURT, Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN, Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. M. Tamer ŞENEL, Erciyes Üniversitesi

Editörler Kurulu

Prof.Dr.Musa SARI, Gazi Üniversitesi, msari@gazi.edu.tr

Prof.Dr.Orhan BÜYÜKGÜNGÖR, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, orhanb@omu.edu.tr

Prof.Dr.Hasan Küçükbay, İnönü Üniversitesi, hasan.kucukbay@inonu.edu.tr

Prof.Dr.Kamil KOÇ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, kamil.koc@cbu.edu.tr

Prof.Dr.Tuncay CANDAN, The American University of the Middle East,
Tuncay.Candan@aum.edu.kw

Prof. Dr. Derviş KARABOĞA, Erciyes Üniversitesi, karaboga@erciyes.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet HAYTA, Erciyes Üniversitesi, mhayta@erciyes.edu.tr

Prof.Dr. Doğan IŞIK, Erciyes Üniversitesi, dogani@erciyes.edu.tr

Prof.Dr. M.Duran TOKSARI, Erciyes Üniversitesi, dtoksari@erciyes.edu.tr

Doç.Dr. BURAK UZAL, Abdullah Gül Üniversitesi, burak.uzal@agu.edu.tr

Doç.Dr. Fehmi NAİR, Erciyes Üniversitesi, fnair@erciyes.edu.tr

Doç.Dr. NİĞMET UZAL, Abdullah Gül Üniversitesi, nigmet.uzal@agu.edu.tr

Doç. Dr.Murat GÖKÇEK, Ömer Halisdemir Üniversitesi, mgokcek@ohu.edu.tr



ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ
Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology

ISSN: 1012-2354



Yayın danışman Kurulu

Prof. Dr. Ülkü YETİŞ, Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Filiz B. DİLEK, Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gülçin BÜYÜKÖZKAN, Galatasaray Üniversitesi

Prof. Dr. Ceyda OĞUZ, Koç Üniversitesi

Prof. Dr. Yaman BARLAS, Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Levent KANDİLLER, Yaşar Üniversitesi

Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN, İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Cevriye Temel GENCER, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ, Maltepe Üniversitesi

Prof. Dr. TUNCAY CANDAN, Ömer Halisdemir Üniversitesi

Prof. Dr. Li TONGXING, Linyi University

Prof. Dr. Panos M. PARDALOS, University of Florida

Prof. Dr. José Machado Minho, University

Prof. Dr. Petraq PAPAJORGJË, University of New York Tirana

Prof. Dr. Fatih ALTUN, Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM, Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. Derviş KARABOĞA, Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. Orhan BÜYÜKGÜNGÖR, Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Cilt: 36 Sayı: 3

Aralık 2020

İçindekiler

Sayfalar	Makaleler	Türü
299-306	Stepwise Algorithms For Person And Object Tracking In Industry 4.0	Araştırma Makalesi
307-311	Kamunun Sağlık Hizmetlerinden Memnuniyet Düzeyi Üzerinde Etkisi Olan Faktörlerin Beta Regresyon ile Belirlenmesi	Araştırma Makalesi
312-324	Uçucu Kül Esaslı Geopolimer Harçlara Diatomit İkamisinin Isı İletkenliğe Etkisi	Araştırma Makalesi
325-332	Improvement in Exponential Estimators of Population Mean using Information on Auxiliary Attribute	Araştırma Makalesi
333-344	Multiobjective Optimization of Optimum-Cycle-Length and Average-Delay-Time at a Specific Isolated Intersection in Konya-Turkey	Araştırma Makalesi
345-349	Bazı Yonca Çeşitlerinde Farklı Temel Besin Ortamlarının Somatik Embriyogenesis Üzerine Etkisi	Araştırma Makalesi
350-363	Yanal Yüklere Maruz Kalan Kolonların SAP2000 ile Monotonik ve Histeretik Analizi	Araştırma Makalesi
364-373	Modeling and Investigation of Wind Turbine Integrated System in Terms of Thermodynamic Perspective for Power, Heating, Cooling and Clean Water Production	Araştırma Makalesi
374-384	An Examination of Data Dependence For Jungck-Type Iteration Method	Araştırma Makalesi
385-399	Sınırlama Ele Alış Metotlarının Yapay Arı Kolonisi Algoritması Üzerinde Etkisinin İncelenmesi	Araştırma Makalesi
400-407	Mean Square Error Performance of the Modified Jackknifed Ridge Predictors in the Linear Mixed Models	Araştırma Makalesi
408-419	Flow Patterns and Bifurcations in a Z-Shaped Cavity	Araştırma Makalesi
420-432	Barut Ağacı Kabuğu'nun (Rhamnus Frangula L.) Bazı Tekstil Materyallerini Boyayabilme Özelliklerinin Araştırılması	Araştırma Makalesi
433-442	Yeniden Örneklemme Teknikleri Kullanarak SMS Verisi Üzerinde Metin Sınıflandırma Çalışması	Araştırma Makalesi
443-455	Kontrast Ajan İopromidinin Elektronik Yapısı Üzerine Teorik B3LYP Çalışması	Araştırma Makalesi
456-471	Bulanık Ortamda Tedarikçi Seçimi	Araştırma Makalesi
472-480	Çok Değişkenli Normal Dağılımların Karmasına Dayalı Kümelemede TOPSIS Yöntemi ile Küme Sayısının Belirlenmesi	Araştırma Makalesi
481-483	A Closed Formula of Hausdorff Series in a Semigroup Ring	Araştırma Makalesi
484-490	Bütünleşik ENTROPİ-ARAS Yöntemi ile Apart Seçimi	Araştırma Makalesi
491-503	Farklı Delik Delme İşlemlerinde Maliyet Hesabı İçin Program Geliştirme	Araştırma Makalesi
504-510	Life Cycle Assessment of the Neutralization Process in a Textile WWTP	Araştırma Makalesi

Stepwise Algorithms For Person And Object Tracking In Industry 4.0

Çağla Ediz¹ 

Sakarya Üniversitesi İşletme Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri, SAKARYA

(Alınış / Received: 09.01.2020, Kabul / Accepted: 03.03.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Keywords

Industry 4.0,
Object Tracking,
RFID,
IoT,
Relative Time for Objects

Abstract: The data in a tracking event are usually an object that enables tracking, a tracked object, and the time information at which these two objects interact. These data can be obtained using different technologies which are expected to be widely used in Industry 4.0, such as RFID, image processors, ibeacon. These devices send their tracking data to the cloud thanks to the Internet of Things (IoT), which is also considered as one of the components of Industry 4.0. Thus “big data”, another component of Industry 4.0, is formed. In this study, how to reduce tracking data without losing its value and then how to convert it into meaningful data by processing step by step are explained with prepared algorithms. By this processed data, traceability reports can be obtained quickly and accurately. The queries used for tracking and the relative time algorithms to evaluate efficiency were shared also in the study. It is aimed that software developers who want to set up tracking systems will benefit from these algorithms. Although studied tracking data is obtained by short-range RFID, these algorithms can be used for different technologies that perform object tracking.

Endüstri 4.0'da Kişi ve Nesne İzleme için Kademeli Algoritmalar

Anahtar Kelimeler

Endüstri 4.0,
Nesne Takibi,
RFID,
Nesnelerin İnterneti,
Nesnelerde Göreceli
Zamanlama

Öz: Bir izleme olayındaki veriler genellikle izlemeyi sağlayan bir nesne, izlenen bir nesne ve bu iki nesnenin etkileşimde bulunduğu anki zaman bilgisidir. Bu veriler Endüstri 4.'da yaygın kullanılacağı tahmin edilen RFID, görüntü işleme, ibeacon gibi farklı teknolojiler kullanılarak elde edilebilir. Bu cihazlar, Endüstri 4.0'ın bileşenlerinden biri olarak kabul edilen Nesnelerin İnterneti (IoT) sayesinde izleme verilerini buluta gönderir. Böylece Endüstri 4.0'ın bir diğer bileşeni olan “büyük veri” oluşur. Bu çalışmada izleme verilerinin değer kaybetmeden nasıl azaltılabileceği ve daha sonra adım adım işlenerek nasıl anlamlı veriler haline dönüştürülebileceği hazırlanan algoritmalarla anlatılmıştır. Bu işlenmiş verilerle izlenebilirlik raporları hızlı ve doğru bir şekilde elde edilebilmektedir. Çalışmada raporlama için kullanılan sorgular ve ayrıca izleme verilerin birbirleriyle veya planlama verileriyle zaman farklarının çıkarılarak verimlilik değerlerinin ölçülmesi için hazırlanan algoritmalar da paylaşılmıştır. Böylece, izleme sistemleri kurmak isteyen yazılım geliştiricilerinin bu algoritmalarla faydalanmaları amaçlanmıştır. Bu çalışmada kısa mesafeli RFID kullanılarak izleme verileri alınmış olmasına rağmen, nesne takip işlemi gerçekleştiren farklı teknolojiler için de hazırlanan algoritmalar kullanılabilir.

*İlgili Yazar, email: cediz@sakarya.edu.tr

1. Introduction

With the development of technology, firms want to keep track of everything they use in the industry and use these data in decision-making. Thus, the objects in the industry are equipped with electronic units with sensors and connect to the Internet. So IoT has become widespread. Therefore, one of the most commonly used words in Industry 4.0 studies, which indicates the latest change in the industry, is “IoT”[1]. IoT is defined as the use of the Internet, devices and sensors for communication among people, machines and products [2]. Thanks to IoT, objects are monitored, products are delivered quickly, costs decrease and customer satisfaction increases [3]. The success of IoT applications will enhance by the standardizations of common requirements from different sectors and assurance of low energy security systems [4].

Different technologies such as RFID, ibeacon, GPRS, digital processing can be used for object tracking. RFID is used to search physical objects and has events like following the state changes of object/reader locations [5].

Similarly, the image processing technologies that make face detection and recognition using images obtained via cameras, videos, have started to be used in employee timekeeping and state security applications. In the literature, although the detecting algorithms are used for different objects, identification algorithms are used for only people. The most common of these applications use the face recognition systems with laplacian, eigenfaces or convolution neural networks ([6], [7], [8]). In spite of the different algorithms, all of them aim to recognize the tracked people. Another technology used for tracking is the ibeacon technology. Ibeacons, which work with much lower energy than Bluetooth and Wifi, can be used for location determinations by making calculations over the received data [9]. Regardless of which of these alternatives was used, obtained data is formed of object, time and place information. Therefore, the object tracking model explained in this study can also be applied when working with different technologies.

In the studied application, personnel tracking was done by using RFID. RFID has many advantages and so its usage is increasing [10]. Some of these advantages can be listed as follows: RFID system collects and evaluates data instantly, reduces labor costs, simplifies business processes and improves business efficiency [11]. In addition, RFID provides stock visibility. Thus, the leakage between physical stock and registered stock is prevented and errors and frauds are reduced [12]. On the other hand, due to continuous data flow with RFID, huge amount of data is read. Therefore, there is a need to reduce data volume in RFID studies [13]. In this study, model algorithms were prepared to reduce the volume of tracking data without losing their value and to obtain some reports from these large data.

In the second section of the study, system architecture and application areas of tracking algorithms , in the third section the data accepting and pre-processing algorithms, in the fourth section stepwise methods used for object tracking, in the fifth section the object track reports and in the last section the relative time calculation algorithms are explained.

2. System Architecture and Application Areas of Tracking Algorithms

The monitoring process is possible by the interaction between the tracker object and the tracked object. Each object is assigned a unique ID code to detect object in the track process. Mostly, the tracker object is asked to detect tracked object when it enters a certain area and to send this data for evaluation. On the other hand, in some systems like tracing applications in mobile phone, the tracked object detects the tracker object and sends these data. Especially with the widespread of smart phones, a lot of data like location of navigation , query code of bank operation, are started to be transmitted to different organizations.

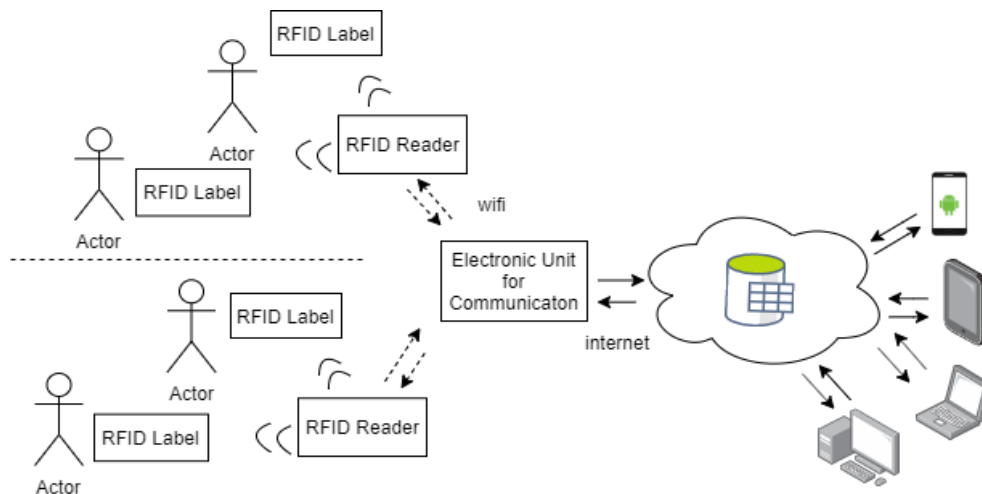


Figure 1. Architecture of the studied application

As a case study, staff movements in a food factory were investigated. First, meetings were held with the human resources manager and the production department manager regarding personnel tracking. Later, a department was selected to see the possible problems. Two short range RFID readers were placed in this department and the entrance and exit movements of the department employees were examined. In this application, RFID readers were used for the tracker objects and RFID tags were used to identify the tracked employees. Since short-range RFID readers were used in the application, these readers were placed near the entrances. As shown in Figure 1, RFID readers send data to the central electronic unit via Wi-Fi and afterwards this data is sent by the electronic unit to the server in the cloud via internet. This data is evaluated on the server. The RFID reader module follows

the same path and reaches the evaluated data and transmits these data to the connected object. So this data can be used for identification and authorization.

This work does not deal with the production processes of the tracked object. In production activities, if different materials (objects) come together and a new product (object) occurs, a different algorithm is needed to follow this transformation. In other words, the proposed algorithm can be used as long as the identity code and quantity of the tracked object do not change. In addition, instead of detecting the coordinates of tracked objects, it is aimed to detect the identified places of objects in the study. Although, by using technologies, such as RFID or ibeacon, location coordinate estimates can be made by reading the same tag by more than one reader ([14], [15]), this study is not related with object positions.

The algorithms in this study can be applied to all monitoring technologies. An example of application usage can be the tracking of plate readers placed at different points in a city. In this way, if enough license plate reading devices are installed in the city, it can be observed where the vehicles are located in within a certain period of time. Another application of this algorithm can be tracking of animals that can be found in different locations on a farm. On the other hand, unlike the above examples, the tracked object which use proposed algorithms, may not able to move itself. The clothes having RFID tags in a store can be given as an example of this. Although RFID usage is not widespread at the small to mid-size enterprise (SME) level in current applications, this situation is expected to change in the future. Besides, RFID tags are likely to be used not only for tracing, finding and counting objects, but also for other purposes, such as gathering information on consumer behaviour from stock movements in the store.

3. Simplifying and Matching Tracking Data

RFID readers send the RFID tag numbers to the databases within specific time periods. Thus, the basic data required for object traceability are collected and stored in the databases. These data are device identification number, identification number of the tracked object and time data. If the data sent to the database belongs to an undefined device or undefined object, it is requested to separate this data from the others. This can occur most of the time when unwanted objects are read by the system. Also, sometimes, an RFID card or RFID reader which was not previously defined can be read for the first time from the system for identification. Therefore, in the first step in the database, it is queried whether the RFID card number or device number being read belongs to an identified object or not.

The device numbers that detect the tracked object are matched with the places of these devices. The place in this matching, identifies the data carrying or containing tracked object instead of specifying a local position [13]. Similarly, the identification numbers from the RFID tags used for the monitored objects were matched with the identification numbers of the objects. The tables used in the initial stage for object traceability are as follows:

UnknownObject (RFIDID, DeviceID, Datetime)
 RFIDMove (RFIDID, DeviceID, Datetime, Transmission)
 ObjectMove (ObjectID, PlaceID, Datetime)

If "RFIDID" and "DeviceID" data sent to the database do not belong to a previously defined object, the sent data are recorded in "UnknownObject" table, whose data is stored for a short time. If these data belong to defined objects, they are recorded in the "RFIDMove" table, whose data are stored for longer time than previous table. The "UnknownObject" table is used to introduce a new device or a new RFID tag for the first time. Occasionally, an unwanted RFID tag can be read and added to this table. After this step, it is queried whether the previous record of reached RFID tag number (RFIDID value) is read from the same device. "Transmission" value of the data read from the same device in the "RFIDMove" table becomes "False". If the last record for this label identification number does not belong to the same device, its "Transmission" value returns "True" and the location, time, and object number that match these data are saved in the "ObjectTrack" table. If the value is "False", no action is taken because this match suggests that there is no change in the object location. RFIDMove table records which is older than one month is deleted. So this algorithm (Figure 2) reduces data volume.

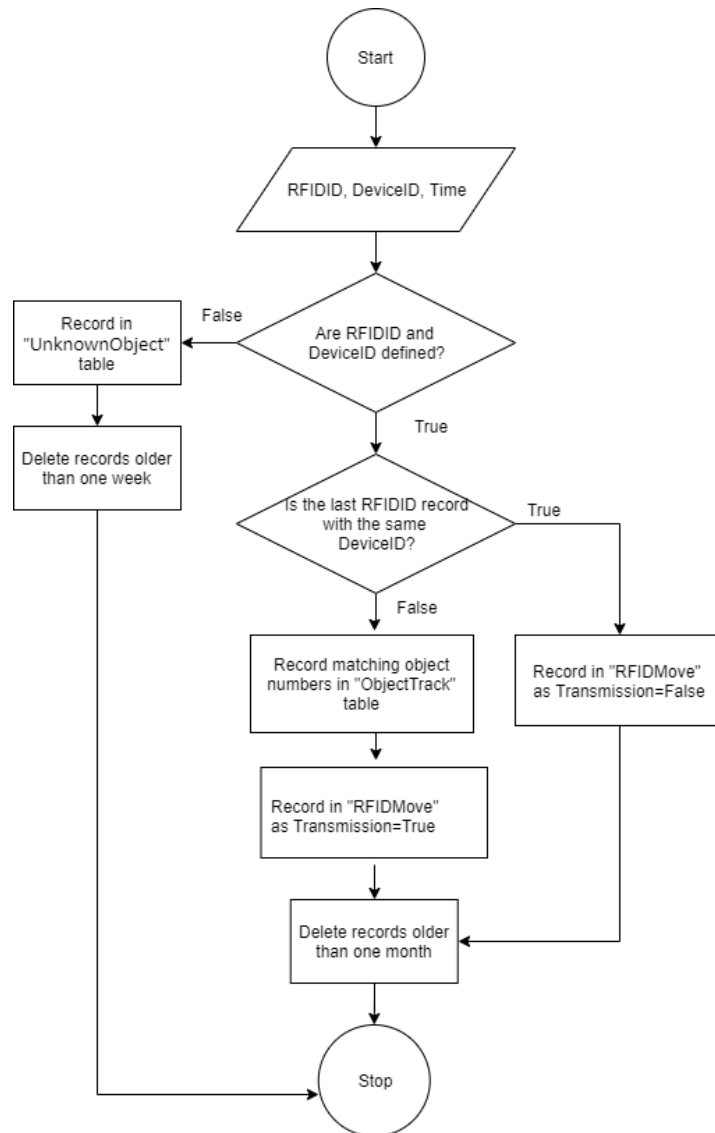


Figure 2. Flowchart for reduction and transmission of tracking data

After this stage, the tracked object can be queried for some reasons like door opening permissions or machine operation permissions. Since query authorizations are done within triggers in databases, permissions can be resulted in a much shorter time than one second after the data is sent.

“RFIDID” and “DeviceID” data detected from the system are matched instantly with “ObjectID” and “PlaceID” using triggers, and these matching data are added to the “ObjectMove” table. Therefore, it is not a problem to change the “ObjectID” which the “RFIDID” matches, or the “LocationID” which the “DeviceID” matches. Moreover in practice these changes are often made. These changes can occur for many reasons, such as giving the same RFID tag to another product because of being discarded or sold.

4. Data Transformation Algorithms for Object Tracking

Data in RFID applications is dynamic. Since these data indicate the state of the instant readings, data conversion is needed for analysis [16]. In this study, “ObjectMove” tables matching with tracking records are going through transformation processes. In order to query these high volume data instantly, view structures were used. As it is known, view structures do not hold data, they are mostly used for visual purposes. In this study, a high amount of data was processed step by step with view structures and so desired structure was reached.

Data from the RFID reader and subsequently processed into the “ObjectTrack” table may not be in accordance with the time sequence. Even time data of the same object may not be sequential for different reasons, such as power failures. In addition, this data does not show how long the object is in one place and where it is seen afterwards. To deal with these problems, a gradual data transformation was performed using the “view” structures in the database. The “ObjectMove” table can be converted to the “ObjectMoveView”, which is required for quick retrieval of reports, by using 6 view steps.

ObjectMove(ObjectID, PlaceID, Datetime) → ObjectMoveView(ObjectID, StartDatetime, EndDatetime, Time_min, PlaceID)

The views used for this conversion are as follows.

View1: By extracting the first record of each object, object and time data are obtained.

```
Create view [dbo].[WithoutFirstObjMoveView]
as
select ObjectID, Datetime from ObjectMove o
except
select ObjectID, convert(datetime,min(Datetime)) as Datetime from ObjectMove group by ObjectID
```

View2: For each record obtained in View1, the nearest historical record with the same object number in this view is found. These records are combined to obtain a view of the object ID, start time and end time data.

```
Create view [dbo].[TimeIntervalView]
as
select i.ObjectID, (select max(p.Datetime) as j from ObjectMove p
where p.ObjectID=i.ObjectID and p.Datetime <i.Datetime) as StartDatetime, i.Datetime as EndDatetime
from
WithoutFirstObjMoveView i
```

View3: By matching “View2” and “ObjectMove” table, places are found. Then these places are added into View2”. In addition, the time between the end time and the start time is calculated for each record.

```
Create view [dbo].[ObjectMoveTimeView]
as
select          z.ObjectID,      p.PlaceID,      z.StartDatetime,      z.EndDatetime,      convert(int,
datediff(second,z.StartDatetime,z.EndDatetime)) as [Time_sec]
from TimeIntervalView z
join ObjectMove p
on z.ObjectID=p.ObjectID and p.Datetime =z.StartDatetime
```

View 4: The last time record is found for each object.

```
Create view [dbo].[ObjectMoveLastDatetimeView]
as
select max(Datetime) as LastDatetime, ObjectID from ObjectMove group by ObjectID
```

View 5: Place data is added to the previous view.

```
Create view [dbo].[InstantObjectPlaceView]
as
select distinct v.ObjectID, ph.PlaceID, v.LastDatetime
from ObjectMoveLastDatetimeView v
join ObjectMove ph
on
ph.Datetime=v. LastDatetime
```

View6: The last place and time of the objects are added and the time and place of the movements of the whole time period are displayed.

```
Create VIEW [dbo].[ObjectMoveView]
AS
Select  o.ObjectID , o.StartDatetime, o.EndDatetime, [Time_sec]/60 as Time_min, o.PlaceID
FROM    dbo. ObjectMoveTimeView o

Union

Select  a.ObjectID, convert(SmallDatetime, a.LastDatetime), convert (SmallDatetime, getdate()),
convert(bigint,datediff(minute,a. LastDatetime,getdate())), a. PlaceID
FROM DBO.InstantObjectPlaceView a
```

The data types in the “ObjectMove” table and the views derived from this table were selected to use the smallest amount of memory in order to increase processing speed and reduce the memory usage. Therefore, “ObjectID” and “DeviceID” should be defined as integers.

5. Main Reports from Object Tracking Algorithms

"What reports are needed to measure staff movements" were asked to human resource and production department officials in the food factory. In this context, the reports that are thought to be most needed are as follows:

- Instant query of object's places.
Select ObjectID, PlaceID, max(StartDatetime), EndDatetime from ObjectMoveView
where (PlaceID =@ObjectID or @ObjectID=0)
- Getting place history of an object between two datetimes.
Select ObjectID, PlaceID, StartDatetime, EndDatetime from ObjectMoveView
where StartDatetime>=@qStart and EndDatetime<= @qEnd and (PNo=@ObjectID or @ObjectID=0)
- Distribution of total time of objects according to places between two datetimes.
Select ObjectID, PlaceID, sum([Time_min]/60) as Hour from ObjectMoveView
where StartDatetime>=@qStart and EndDatetime<= @qEnd and (PNo=@ObjectID or @ObjectID=0)
group by ObjectID, PlaceID

6. Relative Time Algorithms

Relative time algorithms compare two time intervals whose have common points. This can be the comparison of the time intervals between two objects or an object time interval can be compared with a plan.

Proposed relative time algorithms were given by drawing the general framework only, because the conditions in the relative calculations of the objects may vary depending on the need. As an example of relative computational comparisons of objects can be given a refrigerant which is switched on and off, and the time of an object which is carried from this refrigerant to another area. Another example can be the machine's working time intervals comparison with operators work time intervals at the machine.

These algorithms compare the start and end times with each other and make judgments about how objects behave according to the result obtained. While making comparisons, measured time was called as object time and the other time was called as plan time to understand easily.

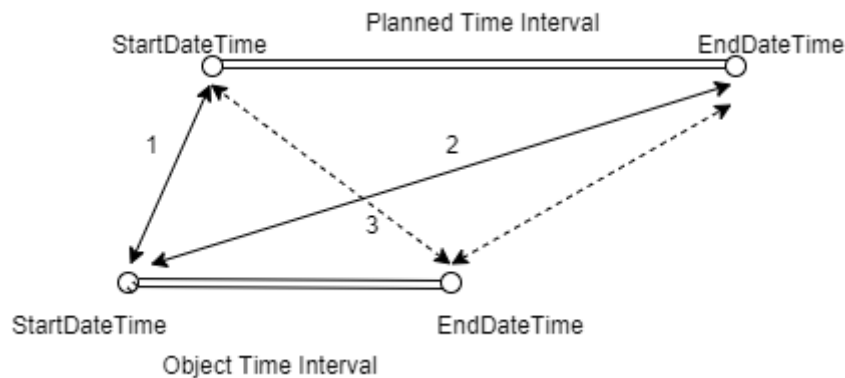


Figure 3. Comparasion between two time intervals

1. Comparison: Is the object tracking start time less than or equal to the plan start time?
2. Comparison: Is the object tracking start time smaller than the plan finish time?
3. Comparison: Is the object tracking end time smaller than the plan start time?
4. Comparison: Is the object tracking end time smaller than the plan end time?

Tablo 1. Classificafication based on comparisons

Comparisons			
1.	2.	3.	4.

Irrelevant Movement Before Plan	1	1	1	1
Early Start and Early End	1	1	0	1
Early Start and Late End	1	1	0	0
Late Start and Early End	0	1	0	1
Late start and late finish	0	1	0	0
Irrelevant Movement After The Plan	0	0	0	0

Traceability of employees is based on time intervals and location. So, the common points in the case study are locations. In the case study, how much the employees fit into working hours was measured. In practice, these plans were prepared periodically. So, it was tried to measure how well the employees act according to the periodical plans. The view structures were used to collectively observe how much the plan was complied with in the case study. It is often necessary to add customizations to these comparisons. For example, an employee can reach his department one minute before the planned time or one hour before. Although both of them are classified under "early started" group, their affects are different actually.

Discussion and Conclusion

With Industry 4.0, it is expected that the human factor in the industry will reduce, inter-object communication will increase and control decisions are taken by the objects. Accordingly, monitoring of objects and evaluation of object movements will become widespread in the future. Regardless of what technology is used, a tracking event is the result of the tracking object, the tracked object, and the interaction between the two. Therefore, similar algorithms can be utilized in object tracking events. In this study, how to track objects and what reports can be obtained by using "tracked object", "tracker object" and "time" data are presented. An algorithm was proposed using flowchart to reduce data volume with triggers. The data obtained using technological equipment were processed to get requested reports quickly. The final data structure was achieved by six steps with the proposed view structures. Hence, the final data structure can be used to get the desired reports and the relative time calculations. Relative time calculations between objects are presented to measure how effectively the objects act. Relative time algorithms can be used by making necessary customizations for calculation of delays, disruptions and incompatibilities. Thus, an infrastructure that can be used as a model for future object tracking studies was prepared. In the future, studies should be carried out in order not to harm the living and nature when these systems are used. Therefore, more detailed studies should be carried out for the side effects of monitoring systems and possible damages should be considered as much as the costs of the systems.

References

- [1] Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. 2016. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS), January, 3928-3937, IEEE.
- [2] Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. 2020. Smart factory performance and Industry 4.0. Technological Forecasting and Social Change, 150, 119790.
- [3] Trappey, A. J., Trappey, C. V., Govindarajan, U. H., Chuang, A. C., & Sun, J. J. 2017. A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. Advanced Engineering Informatics, 33, 208-229.
- [4] Bandyopadhyay, D., & Sen, J. 2011. Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. Wireless personal communications, 58(1), 49-69.
- [5] Wang, F., Liu, S., & Liu, P. 2010. A temporal RFID data model for querying physical objects. Pervasive and Mobile Computing, 6(3), 382-397.
- [6] Turk, M. A., & Pentland, A. P. 1991. Face recognition using eigenfaces. In Proceedings. 1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June, 586-591, IEEE.
- [7] He, X., Yan, S., Hu, Y., Niyogi, P., & Zhang, H. J. 2005. Face recognition using laplacianfaces. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, (3), 328-340.

- [8] Parkhi, O. M., Vedaldi, A., & Zisserman, A. 2015, September. Deep face recognition. In BMVC 1(3), 6.
- [9] Zou, H., Chen, Z., Jiang, H., Xie, L., & Spanos, C. 2017, Accurate indoor localization and tracking using mobile phone inertial sensors, WiFi and iBeacon. In 2017 IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (INERTIAL), March, 1-4, IEEE.
- [10] Başkır, S. G., & Ors, B. 2013. Implementation of a secure RFID protocol. In 2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) , April, 1-4 , IEEE.
- [11] Da Xu, L., He, W., & Li, S. 2014. Internet of things in industries: A survey. IEEE Transactions on industrial informatics, 10(4), 2233-2243.
- [12] Sun, C. 2012. Application of RFID technology for logistics on internet of things. AASRI Procedia, 1, 106-111.
- [13] Gonzalez, H., Han, J., Li, X., & Klabjan, D. 2006. Warehousing and Analyzing Massive RFID Data Sets. In ICDE, April, 6(83).
- [14] Nikitin, P. V., Martinez, R., Ramamurthy, S., Leland, H., Spiess, G., & Rao, K. V. S. 2010. spatial identification of UHF RFID tags. In 2010 IEEE International Conference on RFID (IEEE RFID Phase based 2010), 102-109. IEEE.
- [15] Lin, X. Y., Ho, T. W., Fang, C. C., Yen, Z. S., Yang, B. J., & Lai, F. 2015. A mobile indoor positioning system based on iBeacon technology. In 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), August, 4970-4973, IEEE.
- [16] Wang, F., & Liu, P. 2005. Temporal management of RFID data. In Proceedings of the 31st international conference on Very large data-bases , August, 1128-1139, VLDB Endowment.

Kamunun Sağlık Hizmetlerinden Memnuniyet Düzeyi Üzerinde Etkisi Olan Faktörlerin Beta Regresyon ile Belirlenmesi

Hasan BULUT¹ 

*¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi İstatistik Bölümü, SAMSUN

(Alınış / Received: 05.08.2019, Kabul / Accepted: 03.03.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Sağlık hizmetlerinden memnuniyet,
Beta regresyon analizi, Bilgi kriterleri

Öz: Son yıllarda sağlık alanında yüksek bütçeli yatırımlar ve köklü revizyonlar yapılmıştır. Yapılan bu kamusal harcamaların toplum tarafından ne derece memnuniyetle karşılandığı TÜİK tarafından yürütülen yaşam memnuniyeti çalışması ile belirlenmiştir. TÜİK illerde yaşayan bireylerin kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranlarını yayınlamıştır. Bu çalışmada, bireylerin kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet düzeyi üzerinde etkisi olan göstergelerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. İllerin memnuniyet düzeyleri (0-1) aralığında olduğundan, klasik en küçük kareler yaklaşımının kullanılması uygun değildir. Literatürde oran ve yüzde olarak değer alan bağımlı değişkene sahip regresyon modelleri için Beta regresyon analizi kullanılmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada Beta regresyon analizi kullanılmıştır. Beta regresyon analizinde hangi link fonksiyonunun tercih edileceği bilgi kriterlerine dayanarak belirlenmiştir.

The Determination of Factors Affecting Satisfaction Rate with Public Health Services via Beta Regression

Keywords

Satisfaction of health services,
Beta regression analysis,
Information Criteria

Abstract: In recent years, the high budget projects and major revisions are performed in the health field. The extent of how these public expenditures are satisfied by society has been determined by the life satisfaction study conducted by TurkStat. TurkStat published the Satisfaction rates with public health services of people living in cities. In this study, it is aimed to determine indicators which affect the Satisfaction level from the public health services of people. Because the satisfaction levels of cities are in the interval (0,1), the using of ordinal least of squares is not proper. In the literature, the beta regression analysis is used for the regression models with the dependent variable which takes values as rate or percentage. Therefore, in this study, the beta regression analysis is used. In beta regression, it has been decided to which link function should use by using information criteria.

*İlgili Yazar, email: hasan.bulut@omu.edu.tr

1. Giriş

Ülkemizde son yıllarda sağlık alanında önemli ilerlemeler gerçekleştirilmektedir. Bu ilerlemelerle bağlantılı olarak sağlık turizmi ile önemli bir gelir elde edilmektedir. Yurt dışından gelen hastaların yanı sıra, ülke nüfusunun da artması ile her geçen yıl sağlık hizmeti alan birey sayısı artmaktadır. Bu durum kamu ve özel teşebbüsler vasıtasıyla sağlık sektöründeki hizmetlerin sürekli iyileştirilmesini gerektirmektedir. Bu durum sağlık alanında yapılan harcamaların ve verilen hizmetlerin değerlendirilme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) gerçekleştirdiği yaşam memnuniyeti çalışmasında [1] yer verdiği bir gösterge bu çalışmanın temel problemini ortaya koymuştur. TÜİK bireylere kamunun sağlık hizmetlerinden ne derece memnun olduklarını sormuş ve aldığı yanıtlara göre illerin ilgili memnuniyet göstergesi bakımından memnuniyet oranlarını yayınlamıştır.

Ülkemizde Sağlık hizmetlerinden memnuniyet ile ilgili literatürde çok fazla çalışma olmasına rağmen, bu çalışmalar genel olarak küçük çaplı ve spesifik konular üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bu çalışmalardan bazıları bu bölümde ele alınmıştır. Sünter ve arkadaşları [2], Samsun il merkezinde bulunan 10 sağlık ocağından hizmet alan

bireylerin aldıkları hizmetten memnuniyet düzeyleri ile ilgili bir anket çalışması gerçekleştirmişlerdir. Tükel ve arkadaşları [3], Ankara Üniversitesi İbn-i Sina Hastanesi'nde yatan hastaların memnuniyet düzeylerini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla 650 hastaya anket uygulamışlardır. Benzer çalışmalarda, Ünal ve arkadaşları [4] Kayseri Devlet Hastanesi'nden, Özcan ve arkadaşları [5] Silvan Devlet Hastanesi'nden, Önsüz ve arkadaşları [6] Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi'nden, Demir ve arkadaşları [7] Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları Ana Bilim Dalı polikliniğinden, Savaş ve Bahar [8] Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi'nden, Taşlıyan ve Akyüz [9] Malatya Devlet Hastanesi'nden, Çelikkalp ve arkadaşları [10] Tekirdağ Devlet Hastanesi'nden, Büber ve Başer [11] bir vakıf üniversitesi hastanesinden, Papatya ve arkadaşları [12] iki özel hastaneden, Taşlıyan ve Gök [13] Kahramanmaraş'taki kamu ve özel hastanelerden hizmet alan hastaların memnuniyetlerini incelemişlerdir. Geçkil ve arkadaşları [14] Adıyaman il merkezinde hastaların hemşirelik bakımlarından memnuniyetlerini ele almışlardır. Görüldüğü üzere sağlık hizmeti alan hastaların memnuniyetleri üzerinde çok sayıda çalışma vardır. Ancak bu çalışmalar çok dar kapsamda gerçekleştirilen anket sonuçlarının analizi ve yorumlanmasından ibarettir.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde sağlık hizmeti alan vatandaşların aldıkları bu hizmetten memnuniyetini etkileyen faktörleri belirlemektir. Bu amaç için TÜİK tarafından her bir il için yayınlanan kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranlarının bağımlı değişken olarak alındığı bir regresyon modeli kullanılmasına karar verilmiştir. Ancak iyi bilinmektedir ki, bağımlı değişkenin (0, 1) arasında değerler aldığı veri yapıları için klasik en küçük kareler yerine Beta regresyon analizinin kullanılması gerekmektedir [15]. Bu nedenle, bu çalışmada beta regresyon analizi kullanarak illerin kamusal sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranlarını etkileyen faktörler tespit edilmiştir.

Beta regresyon analizi ilgili uygulamalarda son yıllarda yaygınlaşmaktadır. Burada sadece bu çalışmada yararlanılan çalışmalar tanıtılmıştır. Dünder ve arkadaşları [16] ülkelerin stokastik sınır analizi ile belirledikleri istihdam etkinliklerini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla beta regresyon analizini kullanmışlardır. Ünlü ve Aktaş [17] TÜİK tarafından yayınlanan yaşam memnuniyeti çalışmasında yer alan mutluluk düzeylerini bağımlı değişken kabul ederek, bu mutluluk oranlarını etkileyen memnuniyet göstergelerini beta regresyon analizini kullanarak belirlemişlerdir. Benzer şekilde, Koç [18] Türkiye'de boşanma oranlarını etkileyen faktörleri, Zaman ve arkadaşları [19] ise ülkelere ait GİNİ katsayılarını etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla beta regresyon analizinden yararlanmışlardır.

Dört bölümden oluşan bu makalenin ikinci bölümünde beta regresyon analizi tanıtılmış, 3. Bölümde bulgulara ve son bölümde ise sonuçlara yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet düzeyini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla Beta regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Beta regresyon analizi oran ya da yüzde şeklinde tanımlanan bağımlı değişkenlerin bulunduğu regresyon modellerini tahmin etmek için Ferrari ve Cribari-Neto [15] tarafından geliştirilmiştir. Beta dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (1)'de verildiği gibidir.

$$f(y; p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} y^{p-1}(1-y)^{q-1}, 0 < y < 1 \quad (1)$$

Burada $p, q > 0$ ve $\Gamma(\cdot)$ gamma fonksiyonudur. Ferrari ve Cribari-Neto [15] (1) ile verilen yoğunluk fonksiyonunda Eşitlik (2)'de verilen dönüşüme dayanarak elde ettiği μ ve ϕ parametrelerini kullanmayı önermişler ve (3)'de verilen yoğunluk fonksiyonunu elde etmişlerdir.

$$\mu = \frac{p}{p+q}, \phi = p+q \quad (2)$$

$$f(y; \mu, \phi) = \frac{\Gamma(\phi)}{\Gamma(\mu\phi)\Gamma((1-\mu)\phi)} y^{\mu\phi-1}(1-y)^{(1-\mu)\phi-1}, 0 < y < 1 \quad (3)$$

Burada μ ortalama parametresi ($0 < \mu < 1$) ve ϕ ($\phi > 0$) saçılım parametresidir.

$y_1, y_2, \dots, y_n$ bağımsız ve (3) ile verilen yoğunluk fonksiyonuna sahip rastgele bir örneklem olsun. Beta regresyon modeli (4)'de verildiği gibi yazılır.

$$g(\mu_t) = \sum_{j=1}^m x_{tj}\beta_j \quad (4)$$

Burada β_j ($j = 1, 2, \dots, m$) modeldeki bilinmeyen parametreler, x_{tj} ($j = 1, 2, \dots, m$) modeldeki bağımsız değişkenler ve $g(\cdot)$ link fonksiyonunu ifade etmektedir [15].

Beta regresyon analizinde farklı link fonksiyonlarının kullanılması ile farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu amaçla logit, probit, log, loglog, cloglog ve cauchit fonksiyonları kullanılmaktadır. Uygulamada kullanılan veri setine en iyi uyan link fonksiyonunu belirlemek amacıyla bilgi kriterleri kullanılabilir. Bu çalışmada söz konusu amaç için Akaike bilgi kriteri (AIC) [21] ve Bayes bilgi kriteri (BIC) [22] kullanılmıştır. Bu bilgi kriterlerinin değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır ve söz konusu bilgi kriteri bakımından en düşük değeri alan modelin en başarılı model olduğuna karar verilmektedir.

$$AIC = -2\log L(\hat{M}) + 2m \quad (5)$$

$$BIC = -2\log L(\hat{M}) + m\log(n) \quad (6)$$

Beta regresyon analizi ile ilgili uygulamalarda R programında bulunan “betareg” paketinden yararlanılmıştır [20].

3. Bulgular

Bu çalışmada kullanılan veri setinin bir kısmı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2015 yılında gerçekleştirilen ve sonuçları 2016 yılından yayınlanan Yaşam memnuniyet endeksi çalışmasından [1] ve kalan kısmı da yine TÜİK web sitesinden [23] temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’e göre bağımlı değişken olarak Kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranı alınmıştır. Bu değişken 0-1 aralığında değer aldığından dolayı, bu veri seti için klasik lineer regresyon analizi kullanılması uygun değildir. Bu nedenle çalışmada kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranı üzerinde etkisi olan değişkenleri belirlemek için Beta regresyon analizi kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan değişkenler

Kod	Değişken
Y	Kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranı
X ₁	Bebek ölüm hızı
X ₂	Doğuşta beklenen yaşam süresi
X ₃	Hekim başına düşen müracaat sayısı
X ₄	Sağlığından memnuniyet oranı
X ₅	PM10 istasyon değerleri ortalaması (hava kirliliği)
X ₆	Atık hizmeti verilen nüfusun oranı
X ₇	Kanalizasyon ve şebeke suyuna erişim oranı
X ₈	15-49 yaş arası bin kadın başına canlı doğum sayısı
X ₉	Yüz bin kişiye düşen hastane yatak sayısı
X ₁₀	On bin kişiye düşen hekim sayısı
X ₁₁	On bin kişiye düşen dişçi sayısı
X ₁₂	On bin kişiye düşen eczacı sayısı

Daha önce belirtildiği gibi Beta regresyon analizinde farklı link fonksiyonları kullanılabilir. Tablo 1’de tanıtılan veri seti için hangi link fonksiyonunun daha başarılı olacağını belirlemek amacıyla bilgi kriterleri kullanılmıştır. Elde edilen bilgi kriteri değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’ye göre veri setine en iyi uyan model, “cloglog” link fonksiyonunu kullanmaktadır.

Tablo 2. En iyi modelin Seçimi

Link Fonksiyonu	AIC	BIC
Logit	-250.633	-217.111
Probit	-251.138	-217.616
Cloglog	-251.413*	-217.891*
Cauchit	-248.905	-215.383

Log	-251.052	-217.529
Loglog	-250.633	-217.111

En iyi modele göre elde edilen katsayılar Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’e göre kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olan göstergeler “Sağlığından memnuniyet oranı”, “Atık hizmeti verilen nüfusun oranı”, “Kanalizasyon ve şebeke suyuna erişim oranı”, “15-49 yaş arası bin kadın başına canlı doğum sayısı (Yaşa özel doğurganlık oranı)”, “Yüz bin kişiye düşen hastane yatak sayısı”, “On bin kişiye düşen dişçi sayısı” ve On bin kişiye düşen eczacı sayısı olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. En iyi modele ait katsayılar

Katsayılar	Tahmin Değerleri	Std. Hata	Z	P değeri	Karar
Sabit	-6.26E+00	1.66E+00	-3.775	1.60E-04	***
x1	-9.08E-03	5.96E-03	-1.524	0.127	
x2	1.92E-02	1.75E-02	1.101	0.271	
x3	2.95E-06	2.05E-05	0.144	0.886	
x4	2.12E-02	3.91E-03	5.428	0.000	***
x5	1.87E-04	7.96E-04	0.235	0.814	
x6	4.11E-02	1.39E-02	2.951	0.003	**
x7	-4.44E-02	1.51E-02	-2.952	0.003	**
x8	3.95E-03	1.14E-03	3.478	0.001	***
x9	5.11E-04	2.81E-04	1.823	0.068	.
x10	-5.52E-03	8.71E-03	-0.633	0.526	
x11	-9.18E-02	3.03E-02	-3.034	0.002	**
x12	6.71E-02	2.84E-02	2.361	0.018	*

***: %99.9, **: %99, *: %95, .: %90 güven düzeyinde anlamlı gösterge

4. Tartışma ve Sonuç

Sosyal bir devlet anlayışına sahip olan ülkemizde, gelişen teknoloji ve imkânlarla dayanarak vatandaşların sağlık alanında kaliteli ve hızlı hizmet alması beklenmektedir. Hızlı bir şekilde artan nüfusa karşılık, son yıllarda ülkemizde çok sayıda kamu ve özel hastane açılmıştır. Bu çalışmada söz konusu alanda, kamu tarafından vatandaşlara verilen sağlık hizmetlerinden, vatandaşların memnuniyet düzeyi üzerinde etkisi olan göstergelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece illerde kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranlarının bağımlı değişken olarak alındığı bir regresyon modeli kurulmuştur. Ancak söz konusu memnuniyet oranları (0,1) arasında değerler aldığından dolayı klasik en küçük kareler yaklaşımının kullanılması uygun değildir. Bu nedenle bu çalışmada söz konusu regresyon modeli için Beta regresyon analizi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kamunun sağlık hizmetleri üzerinde 7 göstergenin istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu göstergelerden olumlu etkiye sahip olanlar “Sağlığından memnuniyet oranı”, “Atık hizmeti verilen nüfusun oranı”, “15-49 yaş arası bin kadın başına canlı doğum sayısı (Yaşa özel doğurganlık oranı)”, “Yüz bin kişiye düşen hastane yatak sayısı”, “On bin kişiye düşen eczacı sayısı” olarak belirlenmiştir. Buna göre bu göstergeler bakımından illerin aldıkları değerler arttıkça, kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranları da artacaktır. Diğer taraftan olumsuz etkiye sahip göstergeler “Kanalizasyon ve şebeke suyuna erişim oranı” ve “On bin kişiye düşen dişçi sayısı” olarak belirlenmiştir.

Kaynakça

- [1] TÜİK. 2016. İllerde Yaşam Endeksi, 2015. <http://tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24561> (Erişim Tarihi: 05.08.2019).
- [2] Sünter, A. T., Dabak, Ş., Canbaz, S., Pekşen, Y. 2003. Samsun il merkezinde birinci basamak sağlık hizmetlerinde hasta memnuniyeti. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 20(3), 135-139.
- [3] Tükel, B., Acuner, A. M., Önder, Ö. R., Üzgöl, A. 2004. Ankara Üniversitesi İbn-i Sina Hastanesi’nde Yatan Hasta Memnuniyeti (Genel Cerrahi Anabilim Dalı Örneği). *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası*, 57(04).
- [4] Ünalın, D., Öztürk, A., Tolga, Y., Taşdelen, C., Yazlak, Z., Ögüt, E., Gündüz, E., Elmalı, F. 2008. Kayseri Devlet Hastanesinden poliklinik hizmeti alan SSK mensubu erişkin hastalarda memnuniyet durumu. *Fırat Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 3(8), 85-98.
- [5] Özcan, M., Özkaynak, V., Toktaş, İ. 2008. Silvan Devlet Hastanesine başvuran kişilerin memnuniyet düzeyleri. *Dicle Tıp Dergisi*, 35(2), 96-101.

- [6] Önsüz, M., Topuzoğlu, A., Cöbek, U., Ertürk, S., Yılmaz, F., Birol, S. 2008. İstanbul'da Bir Tıp Fakültesi Hastanesinde Yatan Hastaların Memnuniyet Düzeyi. *Marmara Medical Journal*, 21(1), 33-49.
- [7] Demir, T., Açık, Y., Kaya, M. K., Deveci, E., Piriñçi, E., Yıldırım, B., Oğuzöncül, F., Ozan, T. 2009. Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalı'na poliklinik ya da klinik hizmeti almak için başvuran hastaların sunulan hizmetten memnuniyet düzeyleri. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Tıp Dergisi*, 23(3), 119-124.
- [8] Savaş, E., Bahar, A. 2011. Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde yatan hastaların memnuniyet düzeylerinin belirlenmesi. *Gaziantep Medical Journal*, 17(1), 24-28.
- [9] Taşlıyan, M., Taşlıyan, M., Akyüz, M. 2010. Sağlık Hizmetlerinde Hasta Memnuniyet Araştırması: Malatya Devlet Hastanesi'nde Bir Alan Çalışması. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2010(2), 61-66.
- [10] Çelikkalp, Ü., Temel, M., Saraçoğlu, G. V., Demir, M. 2011. Bir kamu hastanesinde yatan hastaların hizmet memnuniyeti. *Fırat Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 6(17), 1-14.
- [11] Büber, R., Başer, H. 2012. Sağlık İşletmelerinde Müşteri Memnuniyeti: Vakıf Üniversitesi Hastanesinde Bir Uygulama. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 4(1), 265-274.
- [12] Papatya, G., Papatya, N., Hamşioğlu, A. B. 2012. Sağlık Hizmetlerinde Algılanan Hizmet Kalitesi ve Hasta Memnuniyeti: İki Özel Hastanede Karşılaştırmalı Bir Araştırma. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(1), 87-108.
- [13] Taşlıyan, M., Sibel, G. Ö. K. 2012. Kamu ve özel hastanelerde hasta memnuniyeti: Kahramanmaraş'ta bir alan çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(1), 69-94.
- [14] Geçkil, E., Dünder, Ö. G. Ö., Şahin, Ö. G. T. 2008. Adıyaman il merkezindeki hastaların hemşirelik bakımından memnuniyet düzeylerinin değerlendirilmesi. *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 15(2), 41-51.
- [15] Ferrari, S., Cribari-Neto, F. 2004. Beta regression for modelling rates and proportions. *Journal of applied statistics*, 31(7), 799-815.
- [16] Dünder, E., Gumustekin, S., Cengiz, M. A. 2015. Evaluation of determinants of employment efficiency using stochastic frontier analysis and beta regression. *Journal of Mathematical and Computational Science*, 5(6), 848-856.
- [17] Unlu, H., Aktaş, S. 2017. Beta Regression for the Indicator Values of Well-Being Index For Provinces in Turkey. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 2(2), 101-111.
- [18] Koç, T. 2019. Türkiye'de Boşanma Oranlarını Etkileyen Faktörlerin Beta Regresyon Modeli İle Belirlenmesi. *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 7(16), 1111-1117.
- [19] Zaman, T., Dünder, E., Aydın, S. Gini Katsayısını Etkileyen Faktörlerin Beta Regresyon Yöntemi Yardımı ile Belirlenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 235-240.
- [20] Cribari-Neto, F., Zeileis, A. 2010. Beta Regression in R. *Journal of Statistical Software* 34(2), 1-24. URL <http://www.jstatsoft.org/v34/i02/>. (Erişim Tarihi: 05.08.2019).
- [21] Akaike, H. 1973. Maximum likelihood identification of Gaussian autoregressive moving average models. *Biometrika*, 60(2), 255-265.
- [22] Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6(2), 461-464.
- [23] TÜİK, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (Erişim Tarihi: 05.08.2019).

Uçucu Kül Esaslı Geopolimer Harçlara Diatomit İkamemesinin Isı İletkenliğe Etkisi Serhan İLKENTAPAR ^{*1}, Ezgi ÖRKLEMEZ ²

^{*1} Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, KAYSERİ

² Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, KAYSERİ

(Alınış / Received: 25.09.2020, Kabul / Accepted: 13.12.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Geopolimer harç
Uçucu kül
Diatomit
Isı iletkenlik
Sıcaklık kürü

Öz: Bu çalışmada F sınıfı uçucu kül tabanlı geopolimer harçlara diatomit ikamesinin etkileri araştırılmıştır. Diatomit ikameli geopolimer harçların ısı iletkenlik katsayısı, ultrasonik geçiş hızı, yarmada çekme dayanımı ve birim ağırlık özellikleri incelenmiştir. Ayrıca geopolimer hamurların mikro yapısı üzerinde FESEM incelemeleri yapılmıştır. Çalışmada üretilen numunelerde ağırlıkça su/bağlayıcı oranı 0,31 ve kum/bağlayıcı oranı 3,0 olarak belirlenmiştir. Aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) seçilmiş olup, bağlayıcı malzemeye göre ağırlıkça %10 oranında Na⁺ içerecek şekilde kullanılmıştır. Karışımların hazırlanmasında uçucu küle ağırlıkça %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında diatomit ikame edilmiştir. Üretilen geopolimer harçlar 90°C sıcaklıkta 24 saat sıcaklık kürüne tabii tutulmuştur. Sonuç olarak %1, %2, %3 oranında diatomit ikamesi, referans numuneye göre daha boşluksuz yapıda geopolimer oluşumunu sağlarken, %4 ve %5 oranında diatomit ikamesi daha boşluklu yapı oluşumuna sebep olmuştur. Buna paralel olarak en düşük ısı iletkenlik katsayısı %5 oranında diatomit ikamesi ile elde edilirken, en yüksek yarma dayanımı sonucu da %3 oranında diatomit ikamesi ile elde edilmiştir. Ayrıca diatomit ikameli geopolimer harçlarda ısı iletkenlik katsayısı ile ultrasonik geçiş hızı ($R=0,9275$), yarma dayanımı ($R=0,9645$) ve birim ağırlık **değeri ($R=0,9327$)** arasında yüksek oranda doğrusal ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

The Effect of Diatomite Addition on Fly Ash Based Geopolymer Mortars on Thermal Conductivity Values

Keywords

Geopolymer mortar
Fly ash
Diatomite
Thermal conductivity
Heat curing

Abstract: In this study, the effects of diatomite addition on F class fly ash based geopolymer mortars were investigated. Thermal conductivity coefficient, ultrasound transmission rate, split tensile strength and unit weight properties of diatomite addition geopolymer mortars were investigated. In addition, FESEM examinations were made on the microstructure of geopolymer paste. In the samples produced in the study, the water / binder ratio by weight was determined as 0.31 and the sand / binder ratio as 3.0. Sodium hydroxide (NaOH) was selected as the activator and used to contain 10 % by weight of Na⁺ relative to the binder material. Diatomite was replaced with binder by weight basis at the ratios of 1%, 2%, 3%, 4% and 5% in the mixtures. The produced geopolymer mortars were head cured at 90°C in a furnace for 24 hours. As a result, diatomite addition at the rate of 1%, 2%, 3% provided the formation of a more compact geopolymer, while the diatomite substitution at 4% and 5% caused a more porous structure. In parallel, the lowest thermal conductivity coefficient was obtained with 5% diatomite addition, while the highest splitting strength was obtained with 3% diatomite substitution. In addition, it has been concluded that there is a high linear relationship between thermal conductivity coefficient and ultrasonic transmission speed ($R = 0.9275$), splitting strength ($R = 0.9645$) and unit weight ($R = 0.9327$) in diatomite addition geopolymer mortars.

*İlgili Yazar, email: serhan@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Betona talep giderek artmasına rağmen betonun hammaddesi olan çimentonun üretimi, çevre kirliliğini artırmakta ve çimentonun hammaddesi olan kalker azaltılmaktadır [1]. Çimento üretilirken büyük miktarda

enerji ve hammaddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca çimento üretimi esnasında %5-8 oranında atmosfere sera gazı salınımı yapılmaktadır [2-4]. Klinker içermeyen çimento üretmek ya da kullanılan çimentoya mineral katkı malzemeleri kullanmak inşaat sektöründe CO₂ salınımını azaltmak için uygulanan yöntemlerden bazılarıdır [5-7]. Bunların dışında geopolimer sistemler yüksek basınç mukavemeti, yüksek sıcaklığa dayanımı ve düşük büzülme özellikleri ile Portland çimentosuna alternatif olarak görülmektedir [8]. Geopolimerler üç boyutlu alümina-silikat esaslı bir bağlayıcı olarak ilk defa Davidovits tarafından tanımlanmıştır. Geopolimerler katı haldeki alümina-silikat ve yüksek konsantrasyondaki sıvı alkali hidroksit veya silikat çözeltisinin reaksiyonu ile oluşmaktadır. Alümina-silikatlar güçlü alkali çözeltiye hızlıca çözülerek serbest SiO₄ ve AlO₄ tetrahedral yapılarını oluşturur, reaksiyonun ilerlemesi ile SiO₄ ve AlO₄ tetrahedral yapıları oksijen (O) atomları ile bağ kurarak polimerik Si-O-Al bağını oluşturur. Geopolimerlerdeki bu reaksiyon polikondansasyon sonucu gerçekleşmekte ve geopolimerizasyon olarak tanımlanmaktadır [9,10].

Geopolimer üretiminde uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü, silis dumanı vb. endüstriyel atıkların kullanımı daha önceki çalışmalarda araştırılmıştır [11]. Araştırmacılar termik santrallerde kömürün yanması ile elde edilen, bir yan ürün olan uçucu külü geopolimer çalışmalarında kullanmışlardır [12-16]. Uçucu külün ana bileşenleri amorf silika ve alüminumdur. Küresel yapıya sahip olan ve işlenebilirliği iyileştiren uçucu kül geopolimer üretimi için uygun şekil ve boyuttadır [17]. Ayrıca uçucu kül tabanlı geopolimer sistemlere yüksek oranda silis içeren farklı malzemelerin ikame edilmesi daha önce yapılan çalışmalar arasında yer almaktadır. Yüksek oranda silis içeren nano veya mikro boyuttaki malzemelerin geopolimer harçların dayanım ve durabilite özelliklerine etkileri önceki çalışmalarda araştırılmıştır [18-21]. Bunlardan farklı olarak yapısında yüksek oranda silis ihtiva eden diatomit, tek hücreli organizmalar olan diatomların silisli iskelet kalıntılardan oluşmaktadır. Diatomit yapısında alümina, demir oksit ve silika gibi daha birçok mineral içermektedir. Gözenekli yapısı, düşük maliyeti ve yüksek oranda silis içermesi gibi birçok avantajlara sahiptir. Ayrıca, seramik imalatında, ısı yalıtımında ve ağır metal iyonların giderilmesinde kullanılmaktadır [22, 24].

Thammarang vd. yapmış oldukları çalışmada geopolimer numuneler üretirken metakaoline ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında diatomit ikamesi yapmışlardır. NaOH ve Na₂SiO₃ çözeltisi ile aktive edilen geopolimerler 1.5x1.5x1.5 cm'lik küp numunelerde üretilmiş olup faz oluşumları incelenmiştir. Geopolimerlerin faz oluşumu XRD ve mikro yapıları SEM kullanılarak araştırılmıştır. 3, 7, 14, 21 ve 28 gün oda sıcaklığında kür uygulanan geopolimer numunelerin basınç dayanımlarına bakıldığında ağırlıkça %5 ile %10 aralığında diatomit içeren numunelerde diatomit miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi ise numunede yüksek miktarda Si içeren diatomitin dozajının fazla olması ile açıklanmıştır. OH⁻ iyonlarının Al⁺³ iyonlarını tam olarak çözmede yetersiz kalması ve numunede zayıflayan artık hammadde bırakmasıyla basınç dayanımını düşürdüğü rapor edilmiştir [25]. Ayrıca Tokay vd. bir diğer yüksek gözenekliliğe sahip vermikülit geopolimer sistemlerde kullanmışlardır. Yapılan çalışmada yüksek gözenekliliğe sahip vermikülit uçucu kül tabanlı geopolimere ikame edilerek, geopolimer harçların ısı yalıtımı artırılmıştır. Vermikülit kullanarak hafif, ısı ve ses yalıtımlı geopolimer harç üretilen çalışma sonucunda; ultrasonik geçiş hız değerlerini 1,84-3,0 km/s ve ısı iletkenlik katsayısı değerlerini 0,373-0,794 W/mk arasında elde etmişlerdir. Numunelerde boşluk oranı arttıkça basınç dayanımlarında azalmalar gözlemlenmiştir. Molarite arttıkça geopolimer harcın boşluk oranının azaldığı böylece ultrasonik geçiş hızının da arttığı belirtilmiştir. Vermikülit oranı yüksek olan numunelerin ısı iletkenlik katsayıları düşük çıkmıştır. Bunun sebebi ise vermikülit ikameli geopolimer harçların birim hacim ağırlıklarının daha düşük olduğu, daha boşluklu ve hafif bir yapı meydana getirerek ısı iletkenlik katsayı değerini azalttığı belirtilmiştir [26].

Bu çalışmada, geopolimer sistemlerde kısıtlı çalışma alanı bulunan yüksek gözenekliliğe sahip ve yüksek oranda silis içeren diatomitin F sınıfı uçucu küle ikamesi araştırılmıştır. Ana bağlayıcı olarak uçucu kül, ikame malzemesi olarak diatomit ve alkali aktivatör olarak NaOH kullanılıp, geopolimer harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen diatomitli geopolimer harçların ultrasonik geçiş hızına, ısı iletkenlik özelliklerine, yarmada çekme dayanımına ve birim ağırlıklarına etkileri incelenmiş olup geopolimer hamurlar üzerinde FESEM görüntülemesi yapılarak mikro yapısı incelenmiştir.

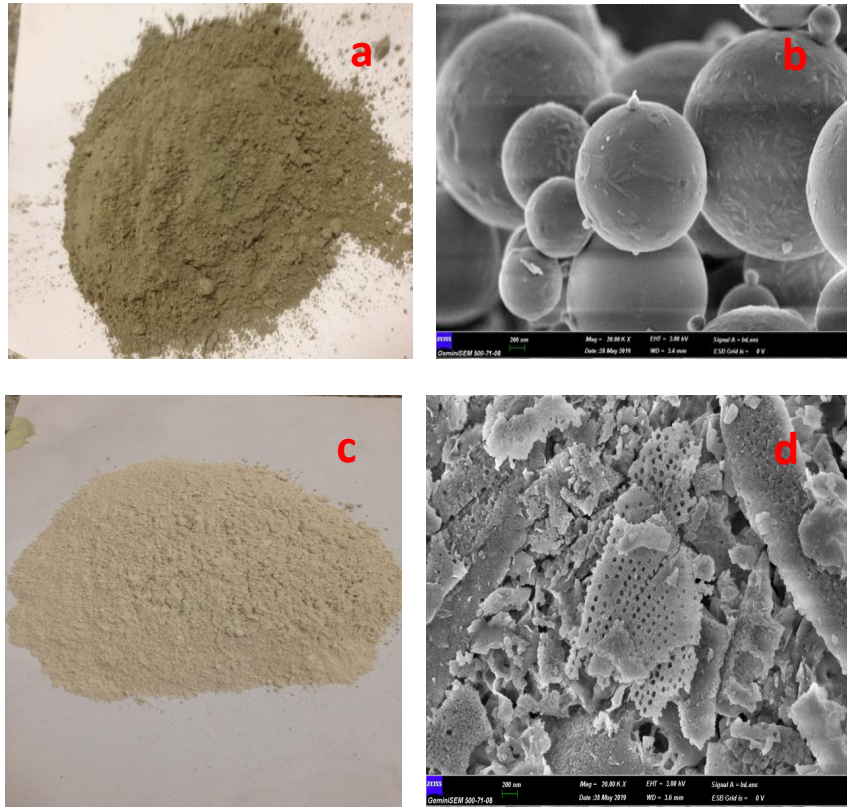
2. Materyal ve Metot

2.1.Uçucu kül ve diatomit

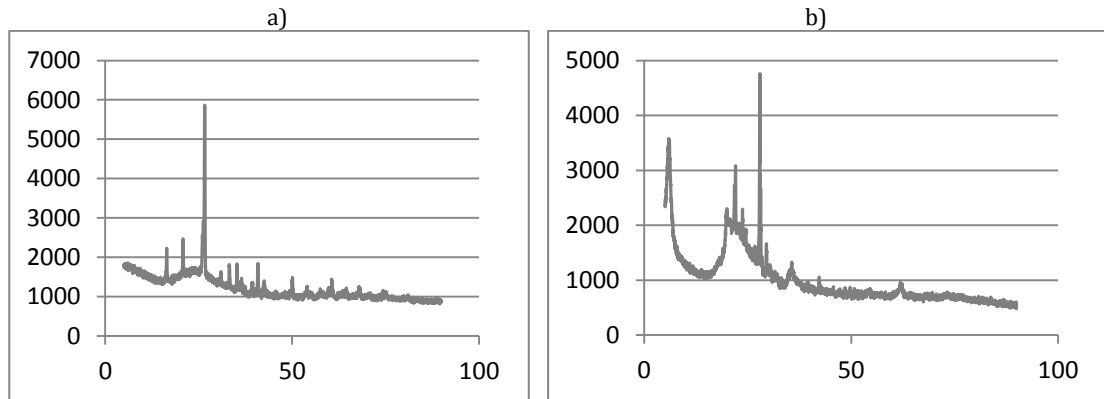
Bu çalışmada, Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali F sınıfı uçucu külü kullanılmıştır. Uçucu kül tabanlı geopolimer harca ikame edilmek üzere kullanılan diatomit ise Kayseri Hırka diatomit yatağından temin edilmiştir. Bağlayıcı olarak kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM) tarafından belirlenmiştir. Bağlayıcı malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1' de, FESEM görüntüleri Şekil 1'de ve minerolojik yapısına ait XRD grafikleri Şekil 2' de verilmiştir.

Tablo 1. Uçucu kül ve diatomitin kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	Uçucu Kül	Diatomit
SiO ₂ (%)	51,70	73,60
Al ₂ O ₃ (%)	26,10	4,65
Fe ₂ O ₃ (%)	6,90	2,72
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ ≥ %70	84,7	80,97
K ₂ O (%)	4,55	0,26
Na ₂ O (%)	0,64	0,46
MgO (%)	1,69	1,03
CaO (%)	2,75	2,38
Kızdırma Kaybı (%)	4,40	7,4
Yoğunluk (kg/m ³)	2,13	1,32
BET Yüzey Alanı (m ² /g)	1,75	42,74



Şekil 1. a) Uçucu kül dış görünümü b) Uçucu kül 20000 kez büyütülmüş FESEM görüntüsü, c) Diatomit dış görünümü d) Diatomit 20000 kez büyütülmüş FESEM görüntüsü



Şekil 2. XRD grafikleri a) Uçucu kül, b) Diatomit

2.2. Standart kum

Çalışmada üretilen geopolimer harçlarda TS EN 196-1'e [27] uygun CEN standart kumu kullanılmıştır. Kullanılan standart kumun elek analizi sonuçları ve TS EN 196-1 sınır değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. CEN standart kumu elek analizi ve sınır değerleri

Özellik	Elek Çapı (mm)					
	2,00	1,60	1,00	0,50	0,16	0,08
Elek Üstü Kalan (%)	0,0	7,0	34,5	71,0	86,5	99,5
TS EN 196-1 Sınır Değerleri (%)	0	7±5	33±5	67±5	87±5	99±1

2.3. Aktivatör

Çalışmada alkali aktivatör olarak %97'den yüksek saflıkta olan NaOH kullanılmıştır. Tablo 3'de alkali aktivatörün kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 3. Alkali aktivatör kimyasal bileşimi

NaOH (%)	Na ₂ CO ₃ (%)	Cl (%)	Al (%)	Fe (%)	SO ₄ (%)
≥97	≤1	≤0.01	≤0.002	≤0.002	≤0.01

2.4. Su

Geopolimer harç karışımlarında şehir şebekesinden alınan içilebilir musluk suyu kullanılmıştır. TS EN 1008'de karışım suyu olarak içilebilir suların kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir [28].

2.5. Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışmalarda üretilen geopolimer kontrol harç numunelerinde F sınıfı uçucu kül, CEN standart kumu, NaOH ve şebeke suyu kullanılmıştır. Uçucu kül tabanlı geopolimer harca kütlece bağlayıcı oranının %1, %2, %3, %4 ve %5'i kadar diatomit ikamesi yapılmış ve toplam 6 grup harç karışımı hazırlanmıştır. Aktivatör olarak kullanılan NaOH'ın çözeltideki Na oranı bağlayıcı miktarının kütlece %10'u olacak şekilde ayarlanmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0,31 ve kum/bağlayıcı oranı 3 olarak bütün harç karışımlarında sabit tutulmuştur. Tablo 4'de geopolimer harçların karışım oranları verilmiştir. Üretilen harç gruplarının tamamına 90°C sıcaklıkta 24 saat sıcaklık kürü uygulanmıştır. Ayrıca iç yapısı incelenecek olan uçucu kül tabanlı geopolimer hamurlara kütlece bağlayıcı oranının %1, %2, %3, %4 ve %5'i kadar diatomit ikamesi yapılmış ve yine toplam kontrol hamuruyla birlikte 6 grup hamur karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan hamur karışımlarının su/bağlayıcı oranı 0,31 olarak sabit tutulmuştur. Aktivatör olarak kullanılan NaOH'ın çözeltideki Na oranı bağlayıcı miktarının kütlece %10'u olacak şekilde kullanılmıştır. Üretilen hamur numunelerin tamamına 90°C sıcaklıkta 24 saat sıcaklık kürü uygulanmıştır.

Tablo 4. Geopolimer harçların karışım oranları

Numune Adı	Uçucu Kül (g)	Diatomit (g)	Kum (g)	NaOH (g)	Su (g)
D0	450	-	1350	80	140
D1	445,5	4,5	1350	80	140
D2	441	9,0	1350	80	140
D3	436,5	13,5	1350	80	140
D4	432	18,0	1350	80	140
D5	427,5	22,5	1350	80	140

2.5.1. Isı iletkenlik tayini

Çalışmada 15,5x14x4 cm boyutlarında 90°C sıcaklıkta 24 saat etüvde kür uygulanan kontrol ve %1, %2, %3, %4, %5 oranında diatomit ikamesi yapılan numunelerin ısıl geçirimsizlik katsayıları Şekil 3'de gösterilen Thermost markalı HFM-100 Heat Flow Meter modeli cihaz ile belirlenmiştir.



Şekil 3. Numunelerin ısı iletkenlik katsayılarının belirlenmesi

2.5.2. Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini

Çalışmada 40x40x160 mm boyutlarında 90°C sıcaklıkta 24 saat etüvde kür sürelerini tamamlayan kontrol ve %1, %2, %3, %4, %5 oranında diatomit ikamesi yapılan numunelere ultrasonik atımlı dalga hızları TS 12504-4 [29] standardına uygun olarak Şekil 4’de verilen Pundit (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) adı verilen Proceq marka cihaz ile belirlenmiştir. Numunelerin ultrasonik atımlı dalga hızı ölçümleri 160 mm’lik boyları doğrultusunda yapılmıştır. Her bir harç karışımı için 3’er adet numune üzerinde ultrasonik atımlı dalga hızı testi ölçümü yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Ultrasonik atımlı dalga hızları aşağıdaki denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

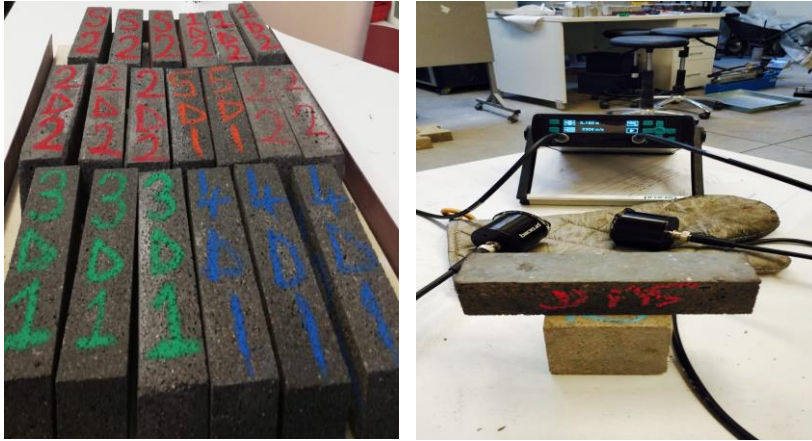
$$V = \frac{L}{T} \quad (1)$$

Burada;

V: Ultrasonik hız, km/s

L: Geçiş uzunluğu, mm

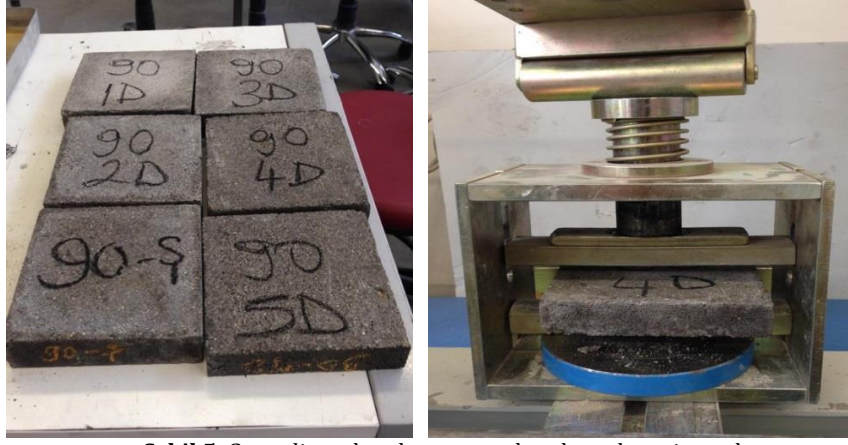
T: Geçiş zamanı, µs



Şekil 4. Ultrasonik atımlı dalga hızı tayini

2.5.3.Yarmada çekme dayanımı

15,5x14x4 cm boyutlarında 90°C sıcaklıkta 24 saat etüvde kür uygulanan referans ve %1, %2, %3, %4, %5 oranında diatomit ikamesi yapılan numunelere TS 2824 [30] standardında belirtilen şartlara uygun olarak Şekil 5’de gösterildiği gibi test uygulanmıştır.



Şekil 5. Geopolimer harçlara yarmada çekme deneyi uygulaması

2.5.4. Birim ağırlık

Geopolimer harçlar 90°C'lik etüvde 24 saatlik sıcaklık kürünü tamamladıktan sonra oda sıcaklığına gelinceye kadar soğuması beklenmiştir. Numunelerin havadaki ağırlıkları Arşimet terazisinde tartılarak etüv kurusu ağırlıkları belirlenmiş ve numunelerin hacmine bölünerek birim ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

2.5.5. FESEM görüntüsü

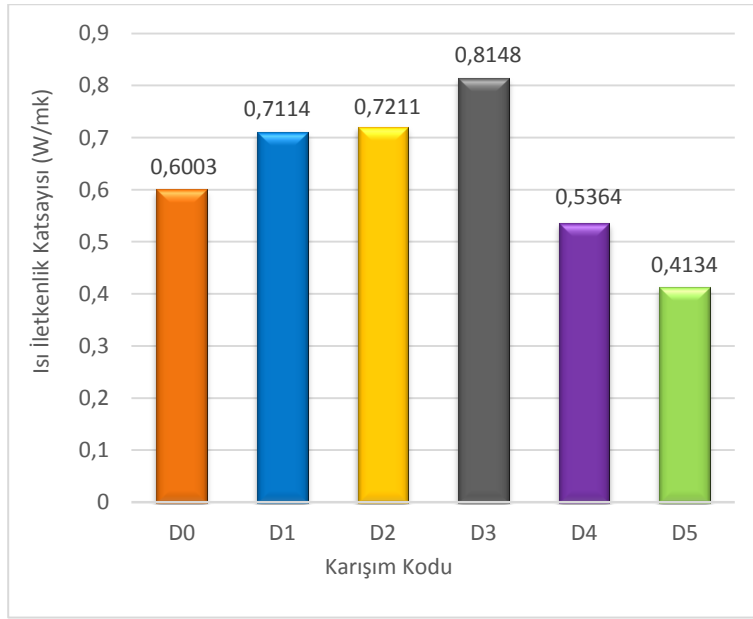
Çalışmada kontrol ve %1, %2, %3, %4, %5 oranında diatomit ikamesi yapılan hamur numunelerin mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ile incelenmiştir. 90°C sıcaklıkta 24 saat etüvde kür edilen hamur numunelerden 10-15 mm kırık yüzey parçalar alınmış ve altın paladyum kaplaması yapılarak Şekil 6'da gösterilen Zeiss (GeminiSEM 500) marka cihaz kullanılarak kırık yüzey incelemesi yapılmıştır.



Şekil 6. FESEM incelemeleri

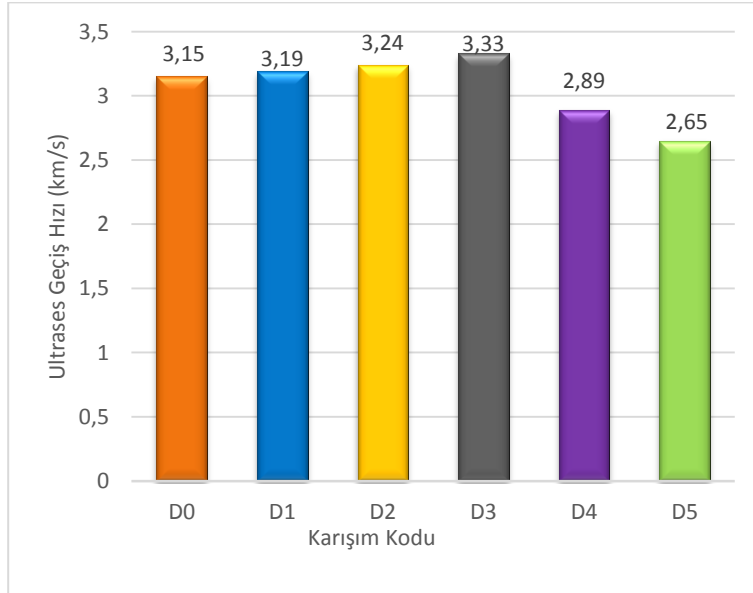
3. Bulgular

Geopolimer numunelerin ısı iletkenlik katsayıları değerlendirildiğinde %1, %2 ve %3 oranında diatomit ikame edilen harçlarda (D1, D2 ve D3) ısı iletkenlik katsayılarının referans numuneye (D0) göre arttığı, %4 ve %5 oranında diatomit ikamesi yapılan harçlarda (D4 ve D5) ise ısı iletkenlik katsayılarının referans numuneye göre azaldığı Şekil 7'de gösterilmiştir. % 5 oranında diatomit ikamesi ısı iletkenlik katsayısını 0,4134 W/mk değerine kadar düşürmüş olup en fazla katkıyı sağlamıştır. % 4 ve %5 diatomit ikamesinin ısı iletkenlik katsayısını azaltması, hem diatomitin gözenekli yapısının (BET yüzey alanı 42,74 m²/g) uçucu küle (BET yüzey alanı 1,75 m²/g) göre çok fazla olmasıyla hem de fazla miktarda diatomitin topaklanmasının geopolimer harçlarda boşluklu yapı oluşumunu sağlamasıyla açıklanabilir. Şekil 14'de FESEM görüntülerinde gösterildiği üzere % 10 Na konsantrasyonunda yeterli miktarda çözünemeyen ve reaksiyona giremeyen diatomit taneleri bu boşluklu yapıyı desteklemiştir. %1, %2, % 3 oranında diatomit ikamesinin %10 Na oranında 90°C de 24 saat kür edilmesi ile yüksek oranda reaktif silis içeren diatomitin yapısındaki silisin çözülüp NASH jelini desteklediği görülmüştür. Bu sayede daha boşluksuz bir yapı oluşturmuş olup ısı iletkenlik katsayısını referans numuneye göre artırmıştır.

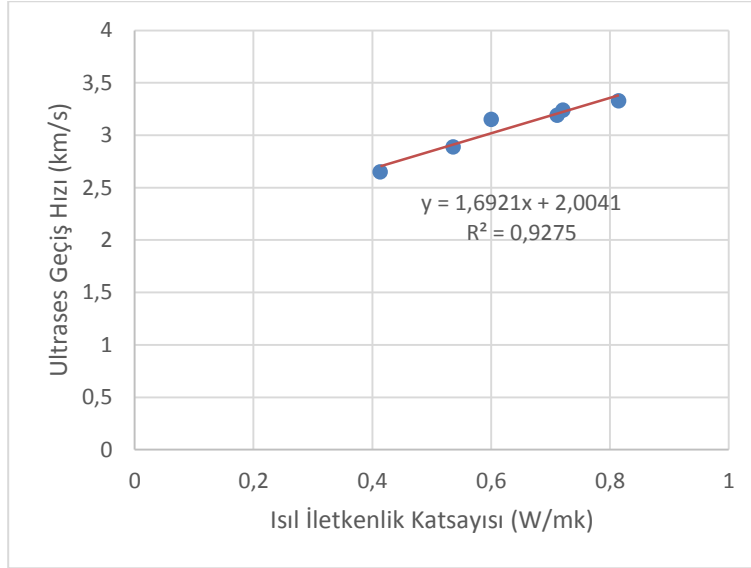


Şekil 7. Isı iletkenlik katsayısı değerleri

90°C sıcaklıkta 24 saat kür edilen %1, %2, %3 oranında diatomit ikamesi yapılan (D1, D2, D3) numunelerin referans numunesine göre ultrasonik geçiş hızlarında artış olduğu, %4 ve %5 oranında diatomit ikamesi yapılan (D4, D5) numunelerin ise ultrasonik geçiş hızlarında azalma olduğu Şekil 8'de gösterilmiştir. En yüksek ultrasonik geçiş hızı (3,33km/s) ile %3 oranında diatomit ikamesi yapılan numunede ölçülürken en düşük ultrasonik geçiş hızı (2,65km/s) ile %5 oranında diatomit ikamesi yapılan numunede ölçülmüştür. % 3 oranında kadar ikame edilen diatomit 90°C sıcaklık küründe ilk 24 saate kadar NASH jelini artırmış ve daha dolu bir matris oluşmasını sağlamıştır. Bir malzemenin ultrasonik geçiş hızı o malzemenin boşluk yapısına bağlı olmasından dolayı literatürde daha önce yapılan çalışmalarda da boşluklu yapının artması ile ultrasonik geçiş hızının azaldığı rapor edilmiştir [31, 32]. Daha önce çalışılan çimentolu sistemlerde de ultrasonik geçiş hızı ile ısı iletkenlik katsayısı arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür [33, 34]. Ayrıca geopolimer harç numunelerin ısı iletkenlik kat sayıları ile ultrasonik geçiş hızı değerleri karşılaştırıldığında yüksek oranda doğrusal ilişki ($R=0,9275$) olduğu Şekil 9'da gösterilmiştir.

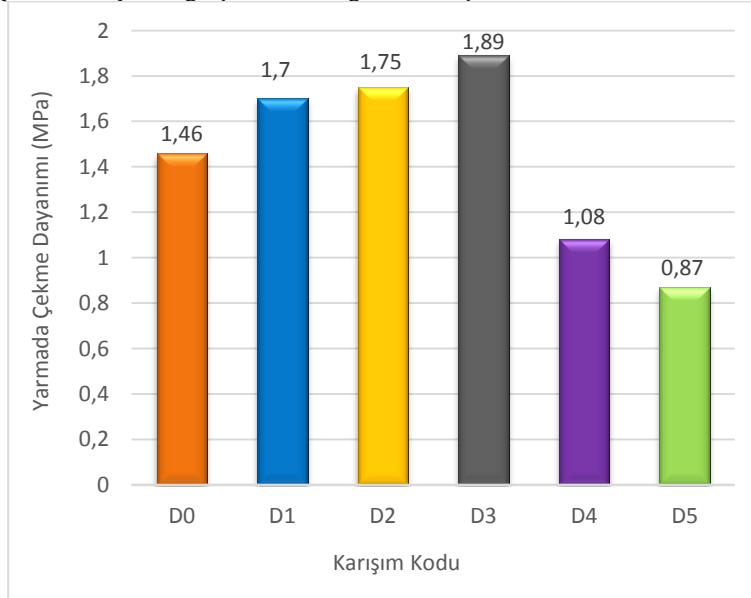


Şekil 8. Ultrasonik geçiş hızı değerleri

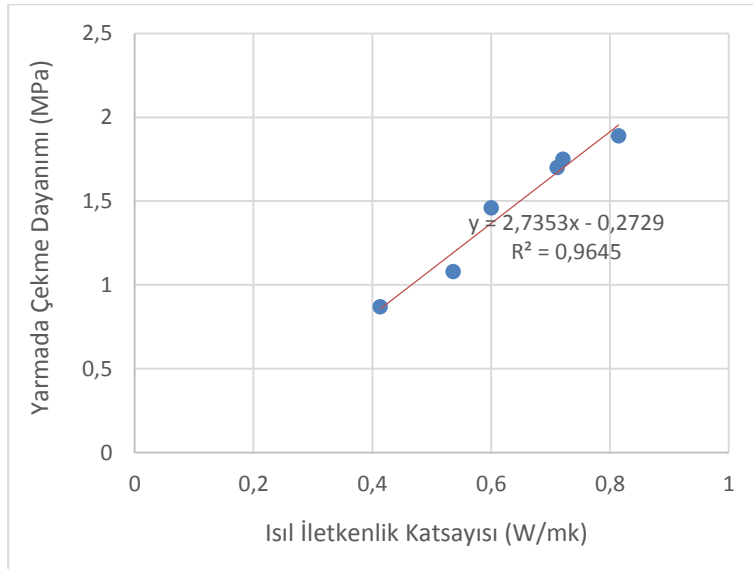


Şekil 9. Diatomit ikameli harçlarda ısı iletkenlik ile ultrasonik geçiş hızı arasındaki ilişki

Geopolimer harç numunelerinin yarmada çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, %1, %2 ve %3 oranında diatomit ikamesinin yarmada çekme dayanımını arttırdığı ancak %4 ve %5 oranında diatomit ikamesinin yarmada çekme dayanımını düşürdüğü Şekil 10'da gösterilmiştir. En yüksek yarmada çekme dayanımı (1,89 MPa), %3 oranında diatomit ikamesi içeren geopolimer harç numunesinde tespit edilmiştir. Referans geopolimer harç numunesine göre % 3 diatomit ikameli geopolimer harcın ısı iletkenlik katsayısının daha yüksek olduğu ve ultrasonik geçiş hızının daha düşük olduğu önceki bölümlerde gösterilmiştir. Bu yüzden daha boşluksuz daha kompakt yapıda olan % 3 diatomit ikameli geopolimer harcın yarma dayanımı en yüksek çıkmıştır. Bu durumun aksine en fazla boşluklu yapıya sahip olan % 5 diatomit ikameli geopolimer harcın yarma dayanımı en düşük (0,87 MPa) çıkmıştır. Literatürde daha önce yapılan % 1, %2, %3 oranlarında diatomit ikame edilmiş olan geopolimer harç numunelerin 90°C de 24 ve 48 saat sıcaklık kürü uygulanması ile eğilme ve basınç dayanımlarının geopolimer kontrol numunesine göre arttığı rapor edilmiştir [35]. Bu yönüyle çalışma literatürle uyumluluk göstermektedir. Ayrıca ısı iletkenlik katsayıları ile yarmada çekme dayanımları arasında yüksek oranda doğrusal ilişki ($R=0,9645$) olduğu Şekil 11'de gösterilmiştir.

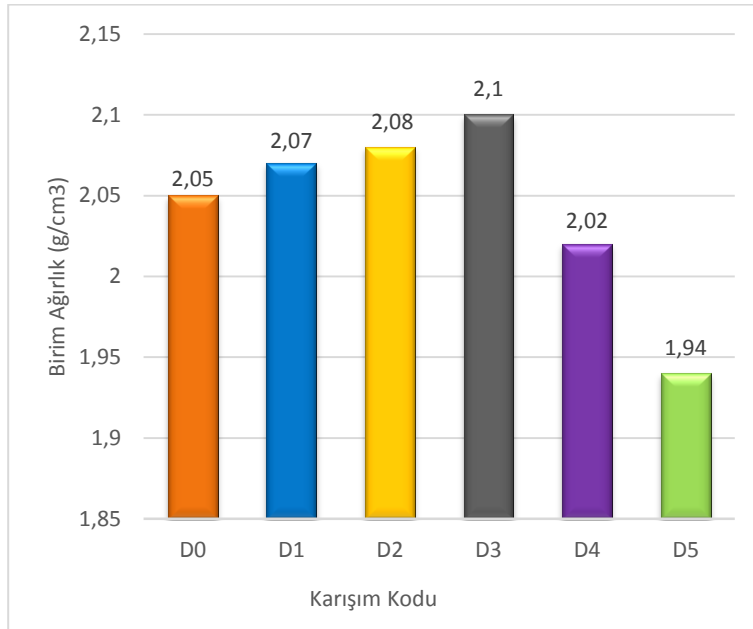


Şekil 10. Yarmada çekme dayanımı değerleri

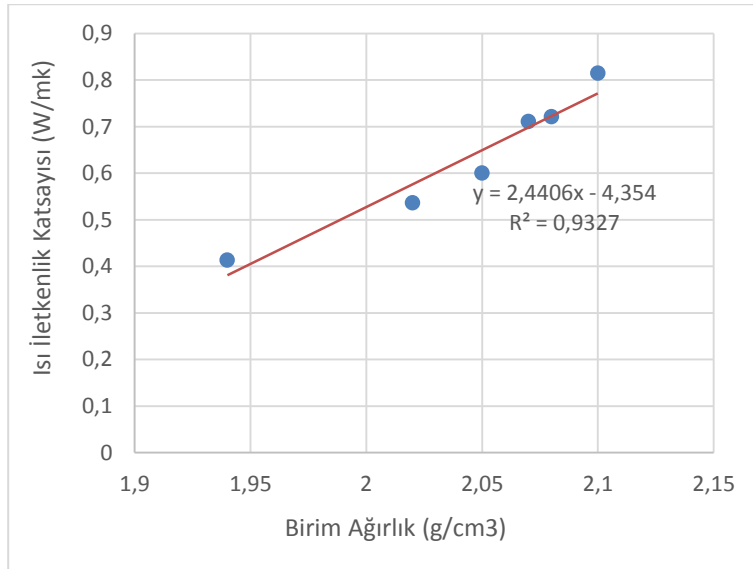


Şekil 11. Diatomit ikameli harçlarda ısı iletkenlik ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki

Geopolimer harç numunelerin birim ağırlık değerleri 1,94 ile 2,08 g/cm³ arasında olduğu Şekil 12’de gösterilmiştir. Geopolimer harç numunelerin birim ağırlıkları kıyaslandığında çok çarpıcı farklılık olmamıştır. Referans numuneye göre D1, D2, D3 kodlu numunelerin birim ağırlık değerleri az miktarda artmıştır. Bu artış uçucu küle göre yoğunluğu daha az olan diatomitin ikamesi ile muhal gözüktü de yüksek oranda reaktif silis içeren diatomitin geopolimer sistemde %3 oranına kadar daha fazla NASH jeli oluşumu sağladığı ve daha yoğun bir mikro yapı oluşturduğu ile açıklanabilir. D4 ve D5 kodlu numunelerin birim ağırlık değerleri referans numuneye göre azalmıştır. % 3 den fazla oranda kullanılan diatomitin topaklanma yaptığı, geopolimer reaksiyonu bloke ettiği, bu sebeple NASH jelini kısıtladığı ve daha boşluklu bir yapıya sebep olduğu ile izah edilebilir. Özellikle % 5 diatomit ikame edilmiş geopolimer harçlarda bu boşluklu yapının en fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca ısı iletkenlik katsayıları ile birim ağırlık değerleri karşılaştırıldığında yüksek oranda doğrusal ilişki (R=0,9327) bulunduğu Şekil 13’de gösterilmiştir. Birim ağırlık değerinin azalması ile ısı iletkenlik katsayısındaki düşüşler orantılı olmuştur.

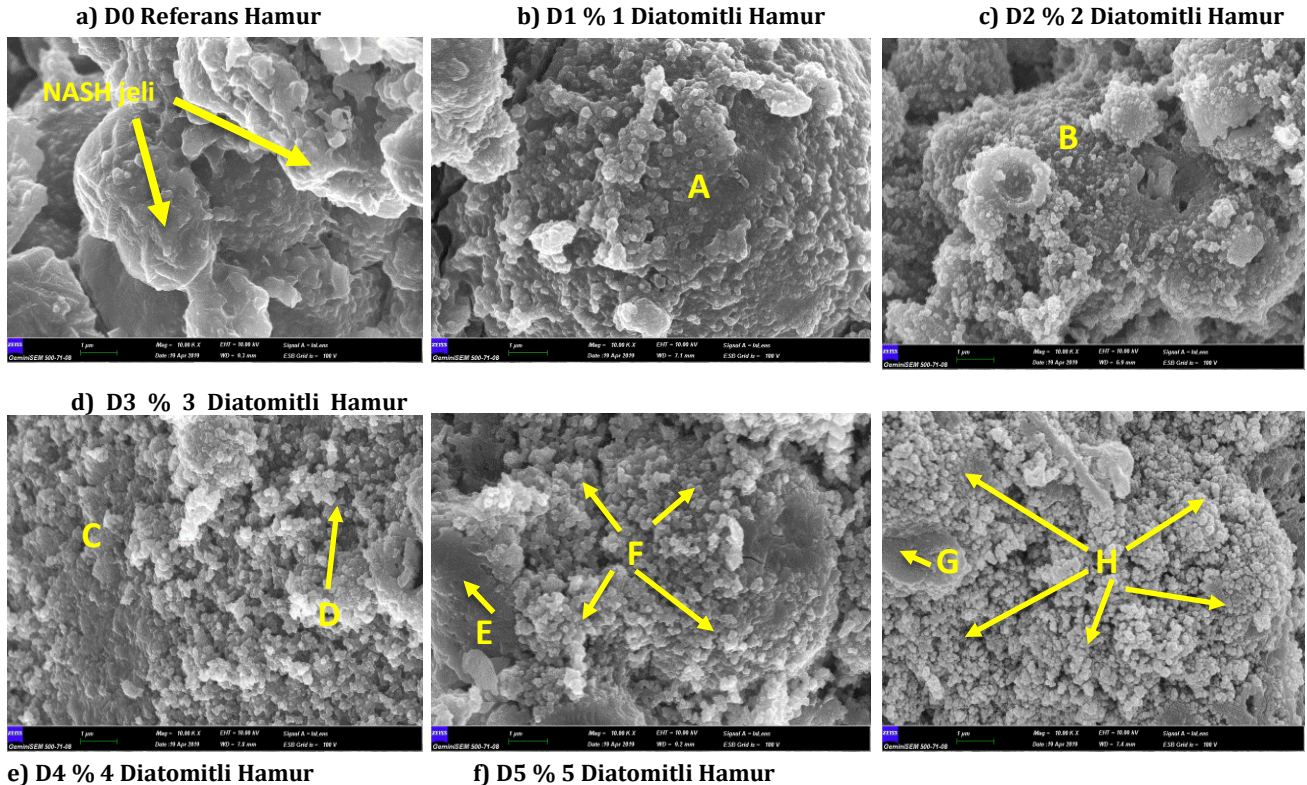


Şekil 12. Birim ağırlık değerleri



Şekil 13. Diatomit ikameli harçlarda ısı iletkenlik ile birim ağırlık arasındaki ilişki

90°C sıcaklıkta 24 saat kür edilen referans, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranında diatomit içeren numunelerin FESEM görüntüleri 10000 kez büyütülerek incelenmiştir. Şekil 14’de verilen FESEM görüntüleri incelendiğinde D0 referans hamur numunesinde NASH jeli görüntülenmiştir. D1 ve D2 harç numunelerinde gösterilen A, B bölgelerinde NASH jeli yapısı daha yoğun bir şekilde görüntülenmiştir. D3 hamur numunesinde C bölgesinde referansa göre daha yoğun jel yapısı gözlemlenirken D bölgesinde kısmi topaklanmış diatomit tanecikleri de görüntülenmektedir. Uçucu kül taneciklerinin yanı sıra reaktif silis içeren diatomitin 90°C sıcaklık küründe alkali ortamda bozularak NASH jelini desteklediği ve daha yoğun bir hamur oluşturduğu görülmektedir. Optimum % 3 oranında diatomitin NASH jeli reaksiyonları en fazla desteklediği boşluklu yapıyı azalttığı diğer deney sonuçlarında gösterilmiştir. Ayrıca %4 ve %5 oranında diatomit ikameli hamurlarda yoğun bir şekilde topaklanmış diatomit tanecikleri görülmektedir. Bu topaklanmış ve reaksiyona girmeyen diatomit tanecikleri NASH jelinin üstünü kaplamış olduğu görülmektedir. D4 ve D5 harç numunelerinde sırasıyla gösterilen E, G bölgelerinde kısıtlı NASH jeli görüntülenirken F, H bölgelerinde yüksek oranda topaklanmış diatomit taneleri görüntülenmiştir. Özellikle D5 geopolimer hamur numunesinin H bölgesinde yoğun olarak topaklanmış diatomit tanecikleri görüntülenmiştir.



Şekil 14. 10000 kez büyütülmüş geopolimer hamur numunelerinin FESEM görüntüleri

4. Tartışma ve Sonuç

Uçucu kül tabanlı geopolimer harçlara diatomit ikamesinin ısı iletkenlik katsayısındaki değişimleri incelendiğinde %1, %2 ve %3 oranında diatomit ikamesi yapılan harçlarda ısı iletkenlik katsayılarının arttığı, ancak daha boşluklu yapıda olan %4 ve %5 oranında diatomit ikamesi yapılan harçlarda ise ısı iletkenlik katsayılarının azaldığı görülmüştür.

Geopolimer numunelerin ultrasonik geçiş hızları değerlendirildiğinde %1, %2, %3 oranında diatomit ikamesi yapılan numunelerde kontrol numunesine göre ultrasonik geçiş hızlarında artış görülmüştür. Ancak boşluk yapısının arttığı %4 ve %5 oranında diatomit ikamesi yapılan numunelerde ise ultrasonik geçiş hızlarında azalma olduğu belirlenmiştir.

Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde %1, %2 ve %3 oranında diatomit ikamesi içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarını arttığı ancak %4 ve %5 oranında diatomit ikamesi içeren harçlarda ise yarmada çekme dayanımlarının düştüğü görülmüştür.

90°C sıcaklıkta 24 saat kür edilen geopolimer numunelerin, birim ağırlıkları değerlendirildiğinde referans, %1, %2 ve %3 oranında diatomit ikamesi yapılan numunelerde birim ağırlıkların çok değişmediği ancak %4 ve %5 oranında diatomit ikamesi yapılan numunelerde ise birim ağırlıkların azaldığı tespit edilmiştir.

FESEM görüntüleri incelendiğinde ise diatomit ikamesi yapılan D1, D2, D3 numunelerinin kontrol numunesine göre daha yoğun, boşluksuz olduğu görülmüştür. D4 ve D5 numunelerinde ise fazla miktarda diatomitin topaklanma yaptığı ve geopolimer sisteme blokaj yaptığı görüntülenmiştir.

Tüm veriler incelendiğinde ısı iletkenlik katsayısı ile birim ağırlık, ultrasonik geçiş hızı ve yarmada çekme dayanımı arasında yüksek oranda doğrusal ilişki olduğu görülmüştür. FESEM görüntülemeleri de elde edilen verileri destekler niteliktedir.

Kaynakça

- [1] Davidovits, J., 1994. Globalwarming impact on the cement and aggregates industries. World Resource Review, 6, 263.
- [2] P.K. Mehta. 2001. Reducing the Environmental Impact of Concrete, Concr. Int. 23(10) (2001) 61–66.
- [3] Karthik A, Sudalaimani K, Vijayakumar CT. 2017. Durability Study on Coal Fly Ash-Blast Furnace Slag Geopolymer Concretes. Ceram Int 43:11935–11943.
- [4] Gunasekara C, Law DW, Setunge S, Sanjayan JG. 2015. Zeta Potential, Gel Formation and Compressive Strength of Low Calcium Fly Ash Geopolymers. Constr Build Mater 95:592–599.
- [5] N.B. Singh, B. Middendorf, 2008. Chemistry of Blended Cements Part-I: Natural Pozzolanas, Fly Ashes and Granulated Blast-furnace Slags. Cem. Int., 6 (4) pp. 76-91.
- [6] S.P. Pandey, A.K. Singh, R.L. Sharma, A.K. Tiwari. 2003. Studies on High Performance Blended/Multiblended Cements and Their Durability Characteristics. Cem. Concr. Res., 33 (9), pp. 1433-1436.
- [7] N.B. Singh, B. Middendorf. 2020. Geopolymers as an Alternative to Portland Cement: An Overview. Construction and Building Materials vol 237.
- [8] J. Feng, R. Zhang, L. Gong, Y. Li, W. Cao, X. Cheng. 2015. Development of Porous Fly Ash-Based Geopolymer with Low Thermal Conductivity. Mater. Des., 65 (2015), pp. 529-533.
- [9] Davidovits J., (1991), Geopolymers: Inorganic polymeric new materials, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 37, 1633-1656.
- [10] Khale D., Chaudhary R. 2007. Mechanism of Geopolymerization and Factors Influencing its Development: A Review. Journal of Materials Science, 42, 729– 746.
- [11] J. Davidovits, Geopolymer. 1991. Inorganic Polymeric New Materials. J. Therm. Anal. 37 (1991) 1633–1656.

- [12] İlkentapar, S., Atiş, C. D. , Karahan, Ö. I. , & Avsaroglu, E. B. G. 2017. Influence of Duration of Heat Curing and Extra Rest Period After Heat Curing on the Strength and Transport Characteristic of Alkali Activated Class F Fly Ash Geopolymer Mortar. *Construction and Building Materials* , vol.151, 363-369.
- [13] Atiş, C.D., Görür, E. B., Karahan, O., Bilim, C., İlkentapar, S., Luga, E. 2015. Very High Strength (120 MPa) Class F Fly Ash Geopolymer Mortar Activated at Different NaOH Amount, Heat Curing Temperature and Heat Curing Duration. *Construction and Building Materials*, 96: 673-678.
- [14] Durak, U., Karahan, O., Uzal, B., İlkentapar, S., Atiş, C. D. 2020. Influence of Nano SiO₂ and Nano CaCO₃ Particles on Strength, Workability, and Microstructural Properties of Fly Ash-Based Geopolymer. *Structural Concrete* , vol.0, no.0, pp.1, 2020.
- [15] G. Görhan, G. Kürklü. 2014. The Influence of The NaOH Solution on The Properties of The Fly Ash-Based Geopolymer Mortar Cured at Different Temperatures. *Compos. Part B*, 58 (2014), pp. 371-377.
- [16] Kaya M, Uysal M, Yılmaz K, Karahan O, Atiş C,D. 2020. Mechanical Properties of Class C and F Fly Ash Geopolymer Mortars. *Gradevinar*, 2020/05, Volume 72, issue 4, Pages 297-309.
- [17] N. Toniolo, A.R. Boccaccini. 2017. Fly Ash-Based Geopolymers Containing Added Silicate Waste. A Review *Ceram. Int.* 43(17):14545-14551.
- [18] F.N. Okoye, J. Durgaprasad, N.B. Singh. 2016. Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of Fly Ash Based-Geopolymer Concrete. *Ceram. Int.*, 42 (2) (2016), pp. 3000-3006.
- [19] F.N. Okoye, S. Prakash, N.B. Singh. 2017. Durability of Fly Ash Based Geopolymer Concrete in The Presence of Silica Fume. *J. Clean. Prod.*, 149 (2017), pp. 1062-1067.
- [20] Durak, U., Karahan, O., Uzal, B., İlkentapar, S., & Atiş, C. D. 2018. The investigation of mechanical effects of nano sio₂ particles for different sodium ion concentrartions on fly ash based geopolmer mortar . 13th Internatioanl Congress on Advances in Civil Engineering.
- [21] Sevinç, A. H., Durgun, Y.M., 2020. Properties of High-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concretes Improved with High-Silica Sources. *Construction and Building Materials* 261(2020)120014.
- [22] F. Akhtar,Y. Rehman, L.t Bergström. 2010. A Study of The Sintering of Diatomaceous Earth to Produce Porous Ceramic Monoliths with Bimodal Porosity and High Strength. *Powder Technol.* 201 (2010) 253-257.
- [23] H. Elden, G. Morsy, M. Bakr. 2010. Diatomite: Its Characterization, Modifications and Applications, *Asian J. Mater. Sci.* 2(3) (2010) 121-136.
- [24] Thammarong, S., Lertcumfu, N., Jaita, P., Manotham, S., Tunkasiri, T., Pimpha, N., & Rujijanagul, G. 2019. The Effects of Replacement Metakaolin with Diatomite in Geopolymer Materials. *Key Engineering Materials*, 798, 267-272.
- [25] Thammarong, S., Lertcumfu, N., Jaita, P., Manotham, S., Tunkasiri, T., Pimpha, N., & Rujijanagul, G. 2019. The Effects of Replacement Metakaolin with Diatomite in Geopolymer Materials. *Key Engineering Materials*, 798, 267-272.
- [26] Tokay H. 2019. Vermikülit ve Uçucu Kül Katkılı Geopolimer Harç Üretilmesi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bartın, 72s.
- [27] TS EN 1015-11., 2000. Kagir harcı - Deney metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [28] TS EN 1008, 2003. Beton karma suyu- Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [29] TS EN 12504-4., Testing concrete - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity. Ankara: TSE, 2012.

- [30] TS 2824 EN 1338/AC Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları - Gerekli Şartlar Ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [31] Whitehurst, E.A., "Soniscope Tests Concrete Structures", Journal of the American Concrete Institute, 47, 433-444, 1951.
- [32] Zoldners, N.G., "Thermal Properties of Concrete Under Sustained Elevated Temperatures", ACI Publication, SP-25, 1-31, 1971.
- [33] Özcan, F.; Akçaözoğlu, K. 2018. Hava Sürüklenmiş Betonların Isıl İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7, 716-724.
- [34] Davraz M, Kiliñarslan S, Kuru M, Tuzlak F. 2016. Investigation of Relationships Between Ultrasonic Pulse Velocity and Thermal Conductivity Coefficient in Foam Concretes. Acta Phys Pol A. 2016;130(1):469–70.
- [35] Örkemez E., 2019. Uçucu Kül Tabanlı Geopolimer Harçlarda Diatomit İkamesinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 137

Improvement in Exponential Estimators of Population Mean using Information on Auxiliary Attribute

Tolga ZAMAN¹ 

*¹Çankırı Karatekin University, Faculty of Science, Department of Statistics, ÇANKIRI

(Alınış / Received: 20.08.2019, Kabul / Accepted: 03.03.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Keywords

Exponential Estimators,
Simple Random Sampling,
Mean Square Error,
Auxiliary Attribute,
Efficiency

Abstract: This paper proposes new exponential estimators combining ratio estimators for estimate population mean of study variable using information about population proportion possessing certain attributes. It is obtained mean square error (MSE) equations for all proposed ratio exponential estimators and is shown that all proposed exponential estimators are always more efficient than the ratio estimators. In addition, these results are supported by an application with original data sets.

Yardımcı Niteliğe İlişkin Bilgi Kullanılarak Kitle Ortalamasının Üstel Tahmin Edicilerindeki Gelişme

Anahtar Kelimeler

Üstel Tahmin Ediciler,
Basit Rakele Örnekleme,
Hata Kareler Ortalama
Yardımcı Özellik
Etkinlik

Öz: Bu makale, belli özelliğe sahip olan kitle oranı hakkındaki bilgiyi kullanarak çalışma değişkeninin ortalama tahmini için önerilen tahmin edicileri birleştiren yeni üstel tahminciler önermektedir. Önerilen tüm üstel tahmin ediciler için hata kareler ortalaması (HKO) denklemleri elde edilmiştir ve önerilen bütün üstel tahmin edicilerin, oran tahmincilerinden her zaman daha verimli olduğu gösterilmiştir. Ek olarak, bu sonuçlar orijinal veri setleri içeren bir uygulama tarafından desteklenmektedir.

*İlgili Yazar, email: tolgazaman@karatekin.edu.tr

1. Introduction

There are many situation when auxiliary information is available in the form of attributes. For example sex is a good auxiliary attribute while dealing with height, and the breed of a cow is a good auxiliary attribute while estimating milk production [1], crop variety is used as an auxiliary attribute in estimating the yield of wheat [2], etc. There are some recent studies on the estimators using the information of the auxiliary attribute in Literature, such as, Shabbir and Gupta [3], Koyuncu [4], Malik and Singh [5], Zaman [6, 7] and Zaman and Kadilar [8]

The Naik and Gupta [1] estimator for the population mean $\bar{Y}$ of the variate of study, which make use of information regarding the population proportion possessing certain attribute, is defined by

$$\bar{y}_{NG} = \frac{\bar{y}}{p} P \quad (1.1)$$

Let y_i be i th characteristic of the population and ϕ_i is the case of possessing certain attributes. If i th unit has the desired characteristic, it takes the value 1, if not then the value 0. That is;

$$\phi_i = \begin{cases} 1 & , \text{ if } i\text{th unit of the population possesses attribute} \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

where $\bar{y}$ the sample mean of the study variable and $a = \sum_{i=1}^n \phi_i$ be the the total count of the units that possess certain attribute sample. $p = \frac{a}{n}$ shows the ratio of these units and it is assumed that the population proportion P of the form of attribute ϕ is known.

The MSE of the Naik and Gupta [1] estimator is

$$MSE(\bar{y}_{NG}) \cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 (C_y^2 - 2\rho_{pb} C_y C_p + C_p^2) \quad (1.2)$$

where, $f = \frac{n}{N}$; N is the number of units in the population; C_p is the population coefficient of variation the form of attribute and C_y is the population coefficient of variation of the study variable.

Following Bahl and Tuteja [9], Zaman and Kadilar [10] proposed ratio exponential estimators in order to estimate population mean of study variable y , using information about population proportion possessing certain attributes in simple random sampling;

$$t_{ZK} = \bar{y} \exp \left[\frac{(kP + l) - (kp + l)}{(kP + l) + (kp + l)} \right] \quad (1.3)$$

where $k (\neq 0)$, l are either real number or the functions of the known parameters of the attribute such as C_p , $\beta_2(\phi)$ ve ρ_{pb} . The following table presents estimators of the population mean which can be obtained by suitable choice of constants k and l

Table 1. The Proposed Estimators by Zaman and Kadilar [10]

Estimators	Values of k	l
$t_{ZK1} = \bar{y} \exp \left(\frac{P-p}{P+p} \right)$ Singh et al. (2007) estimator	1	0
$t_{ZK2} = \bar{y} \exp \left(\frac{P-p}{P+p+2\beta_2(\phi)} \right)$	1	$\beta_2(\phi)$
$t_{ZK3} = \bar{y} \exp \left(\frac{P-p}{P+p+2C_p} \right)$	1	C_p
$t_{ZK4} = \bar{y} \exp \left(\frac{P-p}{P+p+2\rho_{pb}} \right)$	1	ρ_{pb}
$t_{ZK5} = \bar{y} \exp \left[\frac{\beta_2(\phi)(P-p)}{\beta_2(\phi)(P+p)+2C_p} \right]$	$\beta_2(\phi)$	C_p
$t_{ZK6} = \bar{y} \exp \left[\frac{C_p(P-p)}{C_p(P+p)+2\beta_2(\phi)} \right]$	C_p	$\beta_2(\phi)$
$t_{ZK7} = \bar{y} \exp \left[\frac{C_p(P-p)}{C_p(P+p)+2\rho_{pb}} \right]$	C_p	ρ_{pb}
$t_{ZK8} = \bar{y} \exp \left[\frac{\rho_{pb}(P-p)}{\rho_{pb}(P+p)+2C_p} \right]$	ρ_{pb}	C_p
$t_{ZK9} = \bar{y} \exp \left[\frac{\beta_2(\phi)(P-p)}{\beta_2(\phi)(P+p)+2\rho_{pb}} \right]$	$\beta_2(\phi)$	ρ_{pb}
$t_{ZK10} = \bar{y} \exp \left[\frac{\rho_{pb}(P-p)}{\rho_{pb}(P+p)+2\beta_2(\phi)} \right]$	ρ_{pb}	$\beta_2(\phi)$

In Table 1, C_p , $\beta_2(\phi)$ and ρ_{pb} are, respectively, coefficient of variation belonging to ratio of units possessing certain attributes, coefficient of population kurtosis and population correlation coefficient between ratio of units possessing certain attributes and study variable. $\bar{y}$ and p are sample mean belonging to study variable and sample proportion possessing certain attributes, respectively.

The MSE and bias of this ratio estimator is as follows;

$$B(t_{ZKi}) \cong \frac{1-f}{n} \bar{Y} (\lambda_i^2 C_p^2 - \lambda_i \rho_{pb} C_y C_p) \quad (1.4)$$

$$MSE(t_{ZKi}) \cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 [\lambda_i^2 C_p^2 - 2\lambda_i \rho_{pb} C_y C_p + C_y^2], \quad i = 2, \dots, 10 \quad (1.5)$$

where, $\lambda_1 = \frac{1}{2}$; $\lambda_2 = \frac{P}{2(P+\beta_2(\phi))}$; $\lambda_3 = \frac{P}{2(P+C_p)}$; $\lambda_4 = \frac{P}{2(P+\rho_{pb})}$; $\lambda_5 = \frac{\beta_2(\phi)P}{2(\beta_2(\phi)P+C_p)}$;

$$\lambda_6 = \frac{c_p P}{2(c_p P + \beta_2(\phi))}; \lambda_7 = \frac{c_p P}{2(c_p P + \rho_{pb})}; \lambda_8 = \frac{\rho_{pb} P}{2(\rho_{pb} P + c_p)}; \lambda_9 = \frac{\beta_2(\phi) P}{2(\beta_2(\phi) P + \rho_{pb})}; \lambda_{10} = \frac{\rho_{pb} P}{2(\rho_{pb} P + \beta_2(\phi))}$$

2. Suggested Estimators

Following Kadilar and Cingi [11], it is proposed the exponential estimators combining ratio exponential estimators t_{ZK1} and t_{ZKi} ($i = 2, 3, \dots, 10$) as follows;

$$t_{ZKi}^* = \omega t_1 + (1 - \omega) t_i; \quad (i = 2, 3, \dots, 10) \quad (2.1)$$

where ω is a real constant to be determined such that the MSE of t_{ZKi}^* is minimum.

It is obtained the MSE and bias equations for these proposed estimators using Taylor series as; (for details, please see the Appendix A)

$$MSE(t_{ZKi}^*) \cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 \left[C_p^2 \left(\frac{\omega}{2} + \lambda_i - \omega \lambda_i \right)^2 - 2\rho_{pb} C_y C_p \left(\frac{\omega}{2} + \lambda_i - \omega \lambda_i \right) + C_y^2 \right] \quad (2.2)$$

$$\text{where, } \lambda_2 = \frac{P}{2(P + \beta_2(\phi))}; \lambda_3 = \frac{P}{2(P + c_p)}; \lambda_4 = \frac{P}{2(P + \rho_{pb})}; \lambda_5 = \frac{\beta_2(\phi) P}{2(\beta_2(\phi) P + c_p)}; \lambda_6 = \frac{c_p P}{2(c_p P + \beta_2(\phi))}$$

$$\lambda_7 = \frac{c_p P}{2(c_p P + \rho_{pb})}; \lambda_8 = \frac{\rho_{pb} P}{2(\rho_{pb} P + c_p)}; \lambda_9 = \frac{\beta_2(\phi) P}{2(\beta_2(\phi) P + \rho_{pb})}; \lambda_{10} = \frac{\rho_{pb} P}{2(\rho_{pb} P + \beta_2(\phi))}$$

We can have the optimal values of ω (2.2) by following equations: (for details, please see the Appendix B).

$$\omega_{opt} = \frac{2 \left(\rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} - \lambda_i \right)}{(1 - 2\lambda_i)} \quad (2.3)$$

It is obtained minimum MSE of the proposed estimators using the optimal equations of ω in (2.3). All proposed estimators have the same minimum MSE as follows:

$$MSE_{min}(t_{ZKi}^*) \cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 [C_y^2 (1 - \rho_{pb}^2)] \quad ; \quad i = 2, 3, \dots, 10 \quad (2.4)$$

3. Efficiency Comparisons

In this section, it is compared the MSE of the proposed exponential estimators in (2.4) with the MSE of the Naik-Gupta [1] estimator, the ratio exponential estimator suggested by Singh et al. [12] and ratio estimators listed in Table1.

Comparing the MSE of the proposed estimators, given in (2.1), with the ratio estimator suggested by Naik-Gupta [1], given in (1.1), we have the following conditions;

$$MSE(t_{ZKi}^*) < MSE(\bar{y}_{NG}) \quad i = 2, 3, \dots, 10$$

$$\begin{aligned} \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 [C_y^2 (1 - \rho_{pb}^2)] &< \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 (C_y^2 - 2\rho_{pb} C_y C_p + C_p^2) \\ (\rho_{pb} C_y - C_p)^2 &> 0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

When the conditions (3.1) is satisfied, the proposed exponential estimators are more efficient than the ratio estimator suggested by Naik-Gupta [1].

Comparing the MSE of the proposed exponential estimators, given in (2.1), with the MSE of the ratio exponential estimator suggested by Singh et al. [12], given in (1.3), we have the following conditions;

$$MSE_{min}(t_{ZKi}^*) < MSE(t_{ZK1})$$

$$\frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 [C_y^2 (1 - \rho_{pb}^2)] < \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 \left[\frac{C_p^2}{4} - \rho_{pb} C_y C_p + C_y^2 \right]$$

$$\left(\rho_{pb} C_y - \frac{C_p}{2} \right)^2 > 0 \quad (3.2)$$

When the conditions (3.2) is satisfied, the proposed exponential estimators are more efficient than the ratio estimator suggested by Singh et al. [12].

Comparing the MSE of the proposed exponential estimators, given in (2.1), with the MSE of the ratio exponential estimator suggested by Zaman and Kadilar [10], given in Table 1, we have the following conditions;

$$MSE_{min}(t_{ZKI}^*) < MSE(t_{ZKI})$$

$$\frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 [C_y^2 (1 - \rho_{pb}^2)] < \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 [\lambda_i^2 C_p^2 - 2\lambda_i \rho_{pb} C_y C_p + C_y^2]$$

$$(\lambda_i C_p - \rho_{pb} C_y)^2 > 0 \quad (3.3)$$

It is inferred that all proposed exponential estimators are more efficient that all ratio estimators in given in Table 1 in all conditions, because the condition given in (3.3) is always satisfied.

4. Numerical Illustration

It is used the teacher and wdcb data sets to calculate efficiency of estimators which are given in Table 2 and Table 3. In this section, we use the data set in Zaman et al. [13] in order to compare the efficiencies between the proposed estimators, given in (2.1), with the ratio estimators, given in Section 1, based on MSE equations. The MSE of these estimators are computed as given in (1.2), (1.5) and (2.3) and these estimators are compared to each other with respect to their MSE values.

The data is defined as following;

$$\phi_i = \begin{cases} 1 & , \text{ if } y = \text{the number of teachers is more than 60} \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

Table 2. Population 1 Data Statistics

N:111	$\bar{Y}$: 29.279	λ_2 :0.0146	λ_6 :0.0382	λ_{10} :0.0117
n: 30	P : 0.117	λ_3 :0.0203	λ_7 :0.1441	
$\beta_2(\phi)$: 3.898	C_y : 0.872	λ_4 :0.0640	λ_8 :0.0164	
ρ_{pb} : 0.797	C_p : 2.758	λ_5 :0.0709	λ_9 :0.1819	

As second example, the data for the empirical study is taken from population data set considered by Sukhatme [14]

The data is defined as following;

$$\phi_i = \begin{cases} 1 & , \text{ if } y = \text{Number of villages in the circles} \\ 0 & , \text{ if } A \text{ circle consisting more than five vilages} \\ & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

Table 3. Population 2 Data Statistics

N:89	$\bar{Y}$: 3.3596	λ_2 :0.0171	λ_6 :0.0433	λ_{10} :0.0132
------	--------------------	---------------------	---------------------	------------------------

n: 20	$P: 0.1236$	$\lambda_3: 0.0221$	$\lambda_7: 0.1508$
$\beta_2(\phi): 3.4917$	$C_y: 0.6008$	$\lambda_4: 0.0695$	$\lambda_8: 0.0171$
$\rho_{pb}: 0.766$	$C_p: 2.6779$	$\lambda_5: 0.0694$	$\lambda_9: 0.1802$

In Tables 2 and 3, it is observed the statistics about the populations. Note that the sample sizes as $n = 30, n = 20$ and use simple random sampling [15]. We would like to recall that sample size has no effect on efficiency comparisons of estimators, as shown in Section 3.

Tablo4. MSE values of the Ratio Estimators

MSE		
Estimator	Population 1	Population 2
t_{NG}	94.532	2.2168
t_{ZK1}	15.5403	0.4030
t_{ZK2}	14.7247	0.1404
t_{ZK3}	14.2948	0.1356
t_{ZK4}	11.3891	0.0981
t_{ZK5}	10.9827	0.0981
t_{ZK6}	13.0318	0.1171
t_{ZK7}	7.6304	0.0666
t_{ZK8}	14.5909	0.1404
t_{ZK9}	6.5614	0.0654
t_{ZK10}	14.9436	0.1442
Proposed	5.7840	0.0652

In Table 4, values of MSE, which are computed using equations presented in Sections 1 and 2, are given. When we examine Table 4, it is observed that the proposed exponential estimators have the smallest MSE value among all ratio estimators given Section 1. This is an expected results, as mentioned in Section 3.

From the result of this numerical illustration, it is deduced that all proposed exponential estimators are more efficient than all ratio estimators for this data set.

5. Conclusions

It is developed new exponential estimators combining ratio estimators considered is Section 1 using information about population proportion possessing certain attributes in simple random sampling and obtained minimum MSE equation for proposed estimators. Theoretically, It is demonstrated that all proposed exponential estimators are always more efficient than all ratio estimators given Section 1. These theoretical results are supported by an application with original data sets.

References

- [1] Naik, V.D., Gupta, P.C. 1996. A note on estimation of mean with known population proportion of an auxiliary character. Jour. Ind. Soc. Agr. Stat., 48 (2), 151-158.
- [2] Jhaji, H. S., Sharma, M. K., Grover, L. K. 2006. A family of estimators of population mean using information on auxiliary attribute. Pakistan Journal of Statistics-All Series-, 22(1), 43.
- [3] Shabbir, J., Gupta, S. 2010. Estimation of the finite population mean in two phase sampling when auxiliary variables are attributes. Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 39(1), 121-129.
- [4] Koyuncu, N. 2012. Efficient estimators of population mean using auxiliary attributes. Applied Mathematics and Computation, 218(22), 10900-10905.
- [5] Malik, S., Singh, R. 2013. An improved estimator using two auxiliary attributes. Applied mathematics and computation, 219(23), 10983-10986.
- [6] Zaman, T. 2018. New family of estimators using two auxiliary attributes. International Journal of Advanced Research I Engineering & Management (IJAREM), 4(11), 11-16.
- [7] Zaman, T. 2018. Modified Ratio Estimators Using Coefficient of Skewness of Auxiliary Attribute. International Journal of Modern Mathematical Sciences, 16(2), 87-95.
- [8] Zaman, T., Kadilar, C. 2019. New class of exponential estimators for finite population mean in two-phase sampling. Communications in Statistics-Theory and Methods, 1-16.
- [9] Bahl, S., Tuteja, R.K. 1991. Ratio and product type exponential estimator, Information and Optimization Sciences XII (I), 159-163, 1991.
- [10] Zaman, T., Kadilar, C. 2019. Novel family of exponential estimators using information of auxiliary attribute. Journal of Statistics and Management Systems, 1-11.
- [11] Kadilar C., Cingi, H. 2006. Improvement in estimating the population mean in simple random sampling. Applied Mathematics Letters. 19. 75-79
- [12] Singh, R., Chauhan, P., Sawan, N., Smarandache, F. 2007. Ratio-product type exponential estimator for estimating finite population mean using information on auxiliary attribute. in "Auxiliary Information and a Priori Values in Construction of Improved Estimators" edited by Singh, R., Chauhan, P., Sawan, N. and Smarandache, F., Renaissance High Press, 18-32.
- [13] Zaman, T., Saglam, V., Sagir, M., Yucesoy, E., Zobu, M. 2014. Investigation of some estimators via Taylor series approach and an application. American Journal of Theoretical and Applied Statistics, 3(5), 141-147.
- [14] Sukhatme, P.V. 1957. Sampling theory of surveys with applications. The Indian Society of Agricultural Statistics, New Delhi, pp. 279-280
- [15] Cingi, H. 1994. Sampling Theory, Ankara: Hacettepe University Press.
- [16] Wolter, K.M. 1985. Introduction to Variance Estimation, (Springer-Verlag).

Appendices

Appendix A.

In general, Taylor series method for k variables can be given as;

$$h(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k) = h(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k) + \sum_{j=1}^k d_j (\bar{x}_j - \bar{X}_j) + R_k(\bar{X}_k, \alpha) + O_k$$

where

$$d_j = \frac{\partial h(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k)}{\partial \alpha_j}$$

and

$$R_k(\bar{X}_k, \alpha) = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 h(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k)}{\partial \bar{X}_i \partial \bar{X}_j} (\bar{x}_j - \bar{X}_j)(\bar{x}_i - \bar{X}_i) + O_k$$

where O_k represents the terms in the expansion of the Taylor series of more than the second degree [9]. When it is omitted the term $R_k(\bar{X}_k, \alpha)$, we obtain Taylor series method for two variables as follows;

$$h(p, \bar{y}) - h(P, \bar{Y}) \cong \frac{\partial h(c, d)}{\partial c} \Big|_{P, \bar{Y}} (p - P) + \frac{\partial h(c, d)}{\partial d} \Big|_{P, \bar{Y}} (\bar{y} - \bar{Y})$$

where, $h(p, \bar{y}) = t_{ZKi}^*$ and $h(P, \bar{Y}) = \bar{Y}$

MSE equations of the proposed estimators given in (2.1) compute as follows:

$$\begin{aligned}
 t_{ZKi}^* - \bar{Y} &\cong \frac{\partial \left(\omega \bar{y} \exp \left[\frac{P-p}{P+p} \right] + (1-\omega) \bar{y} \exp \left[\frac{(kP+l)-(kp+l)}{(kP+l)+(kp+l)} \right] \right)}{\partial p} \Bigg|_{P, \bar{Y}} (p-P) \\
 &\quad + \frac{\partial \left(\omega \bar{y} \exp \left[\frac{P-p}{P+p} \right] + (1-\omega) \bar{y} \exp \left[\frac{(kP+l)-(kp+l)}{(kP+l)+(kp+l)} \right] \right)}{\partial y} \Bigg|_{P, \bar{Y}} (\bar{y} - \bar{Y}) \\
 &\cong \left(\frac{-\omega \bar{Y}}{2P} + (1-\omega) \left(\frac{-\bar{Y}k}{2kP+2l} \right) \right) (p-P) + (\bar{y} - \bar{Y}) \\
 E(t_{ZKi}^* - \bar{Y})^2 &\cong \left[\left(\frac{\omega^2 \bar{Y}^2}{4P^2} + (1-\omega)^2 \left(\frac{\bar{Y}^2 k^2}{(2kP+2l)^2} \right) + 2 \left(\frac{-\omega \bar{Y}}{2P} \right) (1-\omega) \left(\frac{-\bar{Y}k}{2kP+2l} \right) \right) V(p) \right. \\
 &\quad \left. - 2 \left(\frac{\omega \bar{Y}}{2P} + \frac{\bar{Y}k}{2kP+2l} - \frac{\omega \bar{Y}k}{2kP+2l} \right) Cov(p, \bar{y}) + V(\bar{y}) \right] \\
 &\cong \bar{Y}^2 \left[\left(\frac{\omega^2}{4P^2} + (1-\omega)^2 \left(\frac{k^2}{(2kP+2l)^2} \right) + \frac{2\omega(1-\omega)k}{2P(2kP+2l)} \right) V(p) - \frac{2}{\bar{Y}} \left(\frac{\omega}{2P} + \frac{k}{2kP+2l} - \frac{\omega k}{2kP+2l} \right) Cov(p, \bar{y}) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{V(\bar{y})}{\bar{Y}^2} \right] \\
 &\cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 \left[\left(\frac{\omega^2}{4} + (1-\omega)^2 \lambda_i^2 + \omega(1-\omega) \lambda_i \right) C_p^2 - 2\rho_{pb} C_y C_p \left(\frac{\omega}{2} + \lambda_i - \omega \lambda_i \right) + C_y^2 \right] \\
 MSE(t_{ZKi}^*) &\cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 \left[\left(\frac{\omega}{2} + \lambda_i - \omega \lambda_i \right)^2 C_p^2 - 2\rho_{pb} C_y C_p \left(\frac{\omega}{2} + \lambda_i - \omega \lambda_i \right) + C_y^2 \right]; i = 2, 3, \dots, 10 \quad (A.1)
 \end{aligned}$$

Appendix B

It has the optimal values of α by following equations:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial MSE(t_{ZKi}^*)}{\partial \omega} &= \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 \left[2 \left(\frac{\omega}{2} + \lambda_i - \omega \lambda_i \right) \left(\frac{1}{2} - \lambda_i \right) C_p^2 - 2\rho_{pb} C_y C_p \left(\frac{1}{2} - \lambda_i \right) \right] = 0 \\
 \left(\frac{\omega}{2} + \lambda_i - \omega \lambda_i \right) \left(\frac{1}{2} - \lambda_i \right) C_p^2 &= \rho_{pb} C_y C_p \left(\frac{1}{2} - \lambda_i \right) \\
 \frac{\omega}{2} + \lambda_i - \omega \lambda_i &= \rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} \\
 \omega_{opt} &= \frac{2 \left(\rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} - \lambda_i \right)}{(1 - 2\lambda_i)} \quad (B.1)
 \end{aligned}$$

It is obtained minimum MSE of the proposed estimators using the optimal equations of ω_{opt} in (B.1).

$$MSE_{min}(t_{ZKi}^*) \cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 \left[\left(\frac{\omega_{opt}}{2} + \lambda_i - \omega_{opt} \lambda_i \right)^2 C_p^2 - 2\rho_{pb} C_y C_p \left(\frac{\omega_{opt}}{2} + \lambda_i - \omega_{opt} \lambda_i \right) + C_y^2 \right] \quad (B.2)$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\omega_{opt}}{2} + \lambda_i - \omega_{opt} \lambda_i &= \omega_{opt} \left(\frac{1}{2} - \lambda_i \right) + \lambda_i = \frac{\rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} - \lambda_i - 2\lambda_i \rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} + 2\lambda_i^2}{1 - 2\lambda_i} + \lambda_i \\
 &= \frac{\rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} - \lambda_i - 2\lambda_i \rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} + 2\lambda_i^2 + \lambda_i - 2\lambda_i^2}{1 - 2\lambda_i}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{\rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} - 2\lambda_i \rho_{pb} \frac{C_y}{C_p}}{1 - 2\lambda_i} = \frac{\rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} (1 - 2\lambda_i)}{1 - 2\lambda_i} = \rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} \quad (B.3)$$

Using (B.3) in (B.1), we have

$$MSE_{min}(t_{ZKi}^*) \cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 \left[\left(\rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} \right)^2 C_p^2 - 2\rho_{pb} C_y C_p \left(\rho_{pb} \frac{C_y}{C_p} \right) + C_y^2 \right]$$

$$MSE_{min}(t_{ZKi}^*) \cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 [C_y^2 (1 - \rho_{pb}^2)] ; i = 2, 3, \dots, 10 \quad (B.3)$$

In this paper, It is used the function given in (B.3) Equation to calculate MSE values of the proposed exponential estimators.

Multiobjective Optimization of Optimum-Cycle-Length and Average-Delay-Time at a Specific Isolated Intersection in Konya-Turkey

Ali Tahir Karaşahin¹, Tahir Sağ^{*2}

¹Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, KARABÜK

^{*2}Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, KONYA

(Alınış / Received: 06.09.2019, Kabul / Accepted: 22.09.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Keywords

Traffic signalization,
multi-objective optimization,
NSGA-II,
SPEA2,
IBEA

Abstract: Parallel to population growth, the number of vehicles in cities also increasing. The vehicle increase makes traffic management difficult. This situation leads to higher fuel consumption and emissions of CO2 and similar harmful emissions. Therefore, real-time optimization of traffic lights i.e. signalization can make traffic management more efficient. In this study, the duration of the signals at an intersection where the signal light in the center of Konya/Turkey is optimized by multi-objective optimization algorithms using optimum-cycle-length and average-delay-time as objectives. Four state-of-the-art algorithms are applied to this problem, which are named as Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGAI), Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA2), Indicator-Based Evolutionary Algorithm (IBEA) and Speed-constrained Multi-objective Particle Swarm Optimization (SMPSO). The dataset is obtained from Konya Metropolitan Municipality Transportation Traffic Planning Branch Directorate. The experimental results show that the optimum-cycle-time at signalized intersections can be determined by multi-objective optimization algorithms.

Konya-Türkiye'de Belirli Bir İzole Kavşakta Optimum Çevrim Uzunluğu ve Ortalama Gecikme Süresinin Çok Amaçlı Optimizasyonu

Anahtar Kelimeler

Trafik sinyalizasyonu,
Çok-amaçlı optimizasyon,
NSGA-II,
SPEA2,
IBEA

Öz: Nüfus artışına paralel olarak şehirlerdeki araç sayısı da artmaktadır. Artan araç sayısı trafik yönetimini zorlaştırmaktadır. Bu durum daha yüksek yakıt tüketimi ve CO2 emisyonu ve benzeri zararlı emisyonların salınımına yol açmaktadır. Bu nedenle, trafik ışıklarının gerçek zamanlı optimizasyonu, yani sinyalizasyon sistemi, trafik yönetimini daha verimli hale getirebilir. Bu çalışmada, Konya/Türkiye şehir merkezinde belirlenen bir sinyalizasyon kavşağında, bekleme süreleri çok amaçlı optimizasyon algoritmaları ile optimize edilmiştir. Optimum-döngü-uzunluğu ve ortalama bekleme süreleri amaç fonksiyonları olarak tanımlanmıştır. Literatürde bulunan en gelişmiş çok amaçlı optimizasyon algoritmalarından dördü bu problem için çalıştırıldı. Bu algoritmalar: Bastırılmamışlık Sıralamalı Genetik Algoritma II (NSGAI), Kuvvet Pareto Evrimsel Algoritması 2 (SPEA2), Gösterge Tabanlı Evrimsel Algoritma (IBEA) ve Hız Kısıtlamalı Çok Amaçlı Parçacık Sürü Optimizasyon (SMPSO) algoritmalarıdır. Kullanılan kavşağa ait veriler Konya Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Trafik Planlama Şube Müdürlüğü'nden elde edildi. Deneysel sonuçlar, sinyalizasyon kavşaklarda optimum döngü süresinin çok amaçlı optimizasyon algoritmaları ile verimli bir şekilde belirlenebileceğini göstermektedir.

*İlgili Yazar, email: tahirsag@selcuk.edu.tr

1. Introduction

In recent years, researches on the application of information and communication technologies to various fields have an increasing interest. One example of these works is the development of smart city applications for solutions to rapid urbanization problems. One of the important parameters of smart city applications is smart transportation systems [1-4]. For intelligent transportation systems to respond to today's real problems in an adaptive way, control methods must be kept up to date. One of the important issues of Intelligent Transportation

Systems is traffic congestion due to rapid urbanization. Traffic congestion leads to lost times, increased fuel consumption and the release of harmful emissions such as CO₂. It also gives drivers trouble and discomfort. Various methods to reduce traffic congestion with increasing urban populations are used, some of which are traffic lights, intersections and road capacities. However, green light times at intersections are fixed according to the estimated vehicle intensity, which is also called as fixed-time management. In this method, the duration of green light determined once does not change for 24 hours. Many efforts have been made to improve the efficiency of existing traffic management. Some of the smart city applications are aimed at the technological solution of traffic density at intersections. Therefore, the duration of the traffic lights should be optimized [5].

In addition to traditional techniques, there are also advanced traffic control techniques used in literature. Li et al. investigated the effect of a dynamic intersection control system and optimized signal times on the traffic network in smart cities and they proposed an auxiliary optimization framework for determining cycle-length. It is stated that the proposed model is successful as a result of the experimental results and real-world tests [6]. In a scenario solved by JACK that is an agent-based software for traffic management, Lowrie aimed to separate the vehicles from the intersection as soon as possible. She reported that traffic flow will be accelerated by reducing traffic congestion and traffic accidents owing to the proposed traffic management [7]. On the other hand, there are different studies in the literature to improve the average delay times at signalized intersections. In a master thesis at the department of transportation engineering, different calculation methods used in the capacity calculation at signalized intersections (Webster, Highway Capacity Manual, Australia Method, and Sidra intersection 3.2 programs) were explained [8]. The methods discussed were elaborated with examples at a specific intersection. It was stated that techniques such as ANN can produce faster and more reliable solutions to problems that cannot be expressed mathematically in transportation engineering. The rapid increase in the number of vehicles in traffic as a reflection of the increasing population and economic developments bring about other problems. As a result of the increase in the number of vehicles and traffic movements, traffic accidents also increase. In [9], traffic accidents in Turkey are modeled by ANNs and attention was drawn to what needs to be done in this regard. In the study given in [10], the optimum cycle length is calculated by using the Differential Evolution Algorithm. As a result of the study performed with the Australian method, different scenarios were developed and gains in signal times were obtained.

There are some similar studies in which the multi-objective optimization algorithms are used for this purpose. One of these is a signalization study which takes reference to Webster's method using multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) algorithm [11]. In a study presented by Yanfang and Jianmin, it was stated that Webster's method can be move away from the optimum solution in the case of the oversaturated signalized intersection and they handled the problem as a multiobjective optimization to solve by using a fuzzy-logic-control [12]. In an alternative study to the Webster method, Zakariya and Rabia proposed two regression formulas for estimating the minimum delay optimal cycle length based on a time-dependent delay formula. They claimed that better results were obtained for optimum cycle length at high intersection flow rates compared to the Webster formula [13]. Estrada et al. presented a multi-objective system for traffic optimization (MOSTRO). In order to minimize the total length of the queues of vehicles waiting at each intersection, a traffic network model is introduced and the solution of this problem is modelled with linear programming. Compared to traditional methods, the proposed strategy has been shown to significantly reduce the number of vehicles accumulated at each link [14]. Chen proposed another multiobjective optimization control algorithm based on HCM delay function for traffic signal plans. It has been reported that the implemented model is effective in coordinated intersection management and reducing waiting times according to experimental results [15]. In another study, Cell Transmission Model and NSGAII were used together. The developed model has been claimed to be more advantageous than the Webster model [16]. Again, in a proposed study based on the NSGAII and Webster method, signaling times were similarly optimized [17]. Gao and Yang [17] stated that the most suitable solution for the traffic problem is to use the existing capacity efficiently. In order to achieve this, NSGA-II is applied to create a model for fixed-time signal control of unsaturated intersections by optimizing the variables cycle length and splits of intersections. The results were compared with the single-objective optimization method based on Webster method. The authors claimed that their approach was able to obtain better results for average vehicle delay and queue length.

In this study, the signalization process is handled as a multi-objective optimization problem. The focus here is to determine the signal duration times for a specific intersection in Konya-Turkey. Thus, the optimal values of optimum-cycle-length, intersection-flow-rate and average-delay-time are determined by multi-objective optimization algorithms (MOAs) with Webster's Delay model. To compare and achieve more fair results, NSGAII [18], SPEA2 [19], IBEA [20] and SMPSO [21] algorithms are applied to the problem. This study shows that the relationship between the optimum-cycle-length and intersection-flow-rate of the fixed-time signal intersection can be expressed by multi-objective optimization algorithms. In this way, a decision-support-system is established to assist in deciding the signal durations for a specific signalization system.

The rest of the paper is organized as follows. In section-2, material and methods are briefly explained. Section-2 also includes subsections about the definition of signalization plans as a multi-objective optimization problem, Webster's delay method and the concept of multi-objective optimization. The signal plans for real-time optimization of traffic lights are defined in the concept of optimization terminology. In section-3, experimental results are given. Finally, conclusions are presented in section-4.

2. Material and Method

The signalized intersection to be evaluated within the scope of this study is the "Lastik bus-stop" intersection in Konya, Turkey. The traffic volumes of signalized intersection operated in 4 phases are shown in Table 1. Saturated flow values of the Lastik bus-stop intersection were realized in May 2019 by manual counting method. The counting was done on Saturday, May 25, 2019, at the peak time of 18:00 - 18:15. These hours were preferred because the busiest day of the intersection specified during the week was Saturday. The hourly counting results specified in Table 1 were obtained by multiplying the 15-minute counting operation by four.

Table 1. Lastik bus-stop vehicle count values

Traffic Direction	Saturated flow value (<i>vehicle/hour</i>)
North	1900
East	1850
South	2075
West	1900

In this study, optimum-cycle-length and average-delay at fixed-time signalized-intersections are calculated by the aid of multi-objective optimization algorithms. Also, Webster (British) method is conducted as the calculation model. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGAII), Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA2) and Indicator-Based Evolutionary Algorithm (IBEA) algorithms, which are widely used in the multi-objective optimization research field, are applied to the same problem. In order to evaluate the obtained outcomes by the algorithms, four performance indicators are employed, which are frequently used most commonly used methods for evaluation in the literature. These are Generational Distance (GD), Inverted Generational Distance (IGD), Spacing (SP) and Hypervolume (HV) performance criteria.

2.1. Webster's delay model

The methods used for optimizing signal durations at signalized intersections are classified as phase-based and motion-based methods. There are three widely used methods: Webster (British) [22], Highway Capacity Manual (HCM) [23] and Australia method [24]. In the Australian method, since the flows are evaluated separately instead of the phases, the dataset has to be suitable for this. Australia model is not preferred because our dataset created with manual vehicle count is based on phase order. In the HCM method, it gives importance to the critical flow ratios in the intersection. Since the focus of the study is not critical flows, the HCM model is also not preferred. In the Webster model, it focuses on optimum cycle length and the average delay of the intersection. In this study, the calculation approach of the Webster method is preferred to use since the calculations are considered as phase-based.

The number of vehicles passing through the signalized intersection depends on the green duration applied in all directions. The capacity of the intersection leg is calculated as in Eq. (1).

$$c = \frac{g * s}{D} \text{ vehicle/hour} \quad (1)$$

where c denotes the capacity of the intersection leg. g is the effective green time in seconds. s is the saturated flow per unit of vehicle/hour. D is the cycle length in seconds. The effective green time is expressed as the time during which the green time flows saturated. In other words, it is the time that is found by subtracting the initial and final losses from the green time that appears. The effective green time is shown in Eq. (2).

$$g = G - l \quad (2)$$

where G is the appearing green time in seconds and l is the lost time in seconds. Lost time means the duration which is without traffic flow. After the red light is on, the required time to leave from the intersection safely for the last vehicle entering the intersection at the green light is defined as the lost times. In the Webster method, it

is calculated by summing the difference of the yellow times between phase transitions to the red time at which all vehicles stop. It is calculated as in Eq. (3).

$$L = \sum (I - a) + \sum l \quad (3)$$

where I is the time among the green lights and a is the time of yellow light in seconds. l is the lost time in one phase. The optimum-cycle-length to minimize the time spent at an intersection is calculated by using Eq. (4).

$$D_o = \frac{(Q * L) + 5}{1 - Y} \quad (4)$$

where D_o shows the optimum-cycle-length in seconds. Q is a constant value between 1.2 and 1.5 according to intersection capacity. L is the total lost time and Y presents the sum of all intersection legs. It describes the degrees of saturation for the directions connected to an intersection. Y is expressed as dividing the instantaneous vehicle counts by the saturated flow value.

The average delay is the average time that elapses until leaving the intersection after joining the vehicle queue from the intersection leg. In the Webster model, Eq. (5) is used to calculate the average delays per vehicle.

$$w = \frac{D(1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda * x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} + 0,65 \left(\frac{D}{q^2} \right)^{(1/3)} x^{(2+5\lambda)} \quad (5)$$

where w indicates the average delay per vehicle. λ is the ratio of green time to cycle time ($\lambda = g/D$). x is the saturation ratio. q shows the maximum flow value of intersection leg (vehicle/second) and D is the optimum-cycle-length in seconds. q is in the range of [200, 1800] in this study.

2.2. Multi-objective optimization problems

Many of the real-world problems include multiple conflicting objectives that need to be optimized simultaneously. When there are multiple objectives that are inversely proportional to each other, defined by the same decision variables, it may not always be possible to define them with a single function. Therefore, applying single-objective optimization algorithms to these problems often fails to achieve satisfactory results [25]. Multi-objective optimization problems are defined in Eq. (6).

$$\begin{aligned} \text{Maximize/Minimize} \quad & y = f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_M(x)\} \\ \text{Subject to} \quad & g(x) = \{g_1(x), g_2(x), \dots, g_J(x)\} \leq 0 \\ & h(x) = \{h_1(x), h_2(x), \dots, h_K(x)\} = 0 \\ \text{where} \quad & x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\} \in X \\ & y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\} \in Y \end{aligned} \quad (6)$$

where x is set of the decision variable and X is the parameter space, y is the objective, Y is the objective space, $g(x)$ and $h(x)$ is the constraints depend on the decision variables.

Unlike single-objective optimization seeking global optimum, multi-objective optimization usually does not produce a single optimal solution since it is not always possible to obtain a single decision vector for conflicting objectives. Thus, multi-objective optimization algorithms generally obtain a set of optimal solutions by using a technique that satisfies a balance among the objectives. The techniques depend on Pareto-Optimality are the most suitable algorithms to handle objectives separately and synchronously. According to the concept of Pareto-Optimality, an optimal solution is a solution that is not the worst in any of the objectives and is better than the others in at least one objective. It is also a solution that is not dominated by any other solution in the search space. This situation is mathematically defined as in Eq. (7).

$$\forall i : f_i(x) \leq f_i(y) \text{ and } \exists j : f_j(x) < f_j(y) \quad (7)$$

Such a solution is called as nondominated or Pareto-optimal solution, and the set of such optimal solutions is called the Pareto-Optimal Set [18, 26]. Evolutionary algorithms are very convenient to obtain a set of solutions owing to their population-based nature. So, several multi-objective evolutionary algorithms (MOEAs) have been presented to solve MOPs up to now. These algorithms are generally classified in three groups: (i) Pareto-dominance-based methods [18, 19, 27], (ii) decomposition-based methods [28-30], and (iii) performance indicator-based methods [31, 32].

In this study, four well-known multiobjective algorithms (NSGAII, SPEA-2, IBEA, and SMPSO) are chosen with respect to this classification. The algorithms in the first group distinguish and select candidate solutions according to Pareto dominance. In this category, NSGA-II and SPEA-2 are the most cited algorithms which have the principal strategies for selection and diversity. The second group algorithms decompose a MOP into a number of single-objective optimization problems to be solved collaboratively, such as MOEA/D, C-MOGA and NSGA-III. These are especially used to solve MOPs including more than three objectives, known as many-objective optimization problems. The algorithms in the third group adopt performance indicators of generated solutions as selection criteria in the environmental selection. The most prominent representative of this group is IBEA. In addition, SMPSO which one of the most successful swarm-intelligence-based multiobjective optimization algorithms is included in this study to improve the novelty.

2.2.1. Performance indicators

In recent years, many indicators have been proposed to compare the performance of MOEATs. The indicators are important to reflect the output quality of different algorithms and to carry out the necessary experimental work to compare various approaches. According to a study on performance indicators conducted in 2015, hypervolume (HV), generational distance (GD), epsilon indicator (ϵ), inverted generational distance (IGD) and spread indicator (SP) are the most used metrics in literature, respectively [33].

Four indicator values (HV, SP, GD, and IGD) are calculated in this paper. The descriptions and mathematical formulations are given below. P^* is a set of points distributed uniformly along the true Pareto front (PF) in the objective space; Q is a set of the nondominated solutions obtained by an algorithm to search the PF.

Hypervolume (HV): HV measures the volume of the objective space that is weakly dominated by set Q . In order to calculate this volume, a bounded space has to be constructed by PF and a user-defined reference point [34].

$$HV = volume\left(\bigcup_{i=1}^{|Q|} v_i\right) \quad (8)$$

The larger the indicator value, the greater the size of the dominated area, the better front is obtained. For this reason, it uses normalized objective values. The best value for the indicator is one.

Spread (SP): Spread indicator measures the distribution of obtained set Q along PF [35]. There are two versions of the indicator. The first one is used for only two objectives, while the other one is generalized to be able to use for all multi-objective problems, which is named as the generalized spread and denoted as Δ . It is formulated as in Eq. (9).

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n d(e_i, Q) + \sum_{X \in S^*} |d(X, Q)| - \bar{d}}{\sum_{i=1}^n d(e_i, Q) + |P^*| \cdot \bar{d}} \quad (9)$$

$$d(X, Q) = \min_{Y \in Q, Y \neq X} \|f(X) - f(Y)\|^2$$

$$\bar{d} = \frac{1}{|P^*|} \sum_{X \in P^*} d(X, Q)$$

Here, $(e_1, \dots, e_n)$ shows the m extreme points in set P^* ; $d(e_i, Q)$ indicates the minimum Euclid distance between e_i and the set Q ; m is the number of the objective function. Δ is based on calculating the distance between two consecutive solutions closest to each other in the normalized objective space. It is desired to approximate zero.

General Distance (GD): GD is calculated as the average of the distance of the obtained nondominated solutions to the true Pareto surface [36]. The desired ideal value is zero. Mathematically, it is defined as in Eq. (10).

$$GD(Q, P^*) = \frac{\sqrt{\sum_{p \in P^*} d(p, Q)^2}}{|P^*|} \quad (10)$$

Inverted General Distance (IGD): IGD measures the accuracy by calculating the average distances between Q and P^* [37]. The desired ideal value is zero. Mathematically, it is defined as in Eq. (11).

$$IGD(Q, P^*) = \frac{\sum_{p \in P^*} d(p, Q)}{|P^*|} \quad (11)$$

where $d(p, Q)$ is the minimum Euclid distance between p and the set Q .

2.2.2. Descriptions of the algorithms

The short descriptions of the algorithms called NSGAI, SPEA2, IBEA and SMPSO are given in this section, respectively.

Nondominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGAI): NSGAI [18] is developed by Deb et al. in 1999, is the most well-known multi-objective optimization algorithm in the literature. It is the dominance-based technique that presents pioneering methods for exploration and exploitation such as fast sorting strategy and crowding distance method. The algorithm begins by generating a random population. The N -sized population is separated into fronts by use of a nondominated-sorting strategy. It means that all solutions are sorted according to Pareto-dominance and nondominated solutions are picked to the first front and this process is repeated for remaining solutions for the next front until no solutions remain in the population. The front level is used to select parent solutions as a rank in the binary tournament. When the ranks are equal, the crowding-distance method of promoting diversity is used. N -new solutions are generated by SBX crossover and polynomial mutation. At the end of each iteration, the $2N$ -sized population is obtained by combining current and new solutions. The best N solutions are picked to the next generation by using nondominated sorting. In this way, elitism is guaranteed.

Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 (SPEA2): SPEA2 [19] is developed by Zitzler et al. in 2001. It is another popular multi-objective optimization algorithm depend on genetic algorithm. It is the improved version of SPEA, which was previously proposed by Zitzler. SPEA2 involves a fine-grained fitness assignment strategy, a density estimation technique, and an enhanced archive truncation method.

Indicator-based Evolutionary Algorithm (IBEA): IBEA was proposed by Zitzler and Künzli in 2004 [31]. It is based on a strategy that allows the arbitrary performance indicators to be used directly in the selection process. Thus, IBEA can be tailored to user preferences and does not need extra diversity protection methods such as fitness sharing. The algorithm performs binary tournaments for mating selection and removes the worst individuals iteratively. The authors placed two different versions of the algorithm named basic IBEA and adaptive IBEA in their paper.

Speed-constrained Multi-objective Particle Swarm Optimization (SMPSO): SMPSO was proposed by Nebro et al. in 2009 [38]. It is an adapted version of the PSO algorithm to multiobjective optimization. To enhance the search capability, SMPSO employs a novel strategy to limit the velocities of the candidate solutions. Besides this, the algorithm uses polynomial mutation as a turbulence factor and an external archive to store the nondominated solutions found during the search.

3. Results

In order to organize the signalization plans, optimum-cycle-length and average-delay are defined as two separate objective functions. The 1st objective function, which represents the optimum-cycle-length, is shown in Eq. (12).

$$D_o = \frac{(Q * L) + 5}{1 - Y} \quad (12)$$

The second objective function, which represents the average delay time, is seen in Eq. (13).

$$w = \frac{D(1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda * x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} + 0,65 \left(\frac{D}{q^2} \right)^{(1/3)} x^{(2+5\lambda)} \quad (13)$$

In this study, NSGAI, SPEA2, IBEA, and SMPSO were run for a reference model established by Webster model which involves the calculations for optimum-cycle-length, intersection flow ratio and the average delay time per vehicle. The relations of optimum-cycle-length with intersection flow ratio and the average delay time are shown in Fig. (1) and Fig. (2), respectively. The selection task of one optimal solution from the Pareto-Optimal Set is fulfilled by a decision-maker since the optimum solutions will change according to the intersection vehicle counts, the current geometric plan of the intersection and past traffic habits. For this purpose, the Platypus framework [39] which was developed to solve multi-objective optimization problems is utilized to model the

handled problem. Webster calculation method is inserted into the Platypus framework as an optimization problem. The results of performance indicators calculated with the outcomes obtained by the algorithms are given in tables. Further, the Pareto-front of the model used in the evaluation phase is shown in Fig. (3). All algorithms were run for 10 independent times under the same control parameter values, which population size is used as 100 and the number of iterations is taken as 100.

The extreme solutions in PFs obtained by the algorithms are given in Table-2, which contains two solutions (extreme-1 and extreme-2) in each row for an algorithm. Extreme-1 represents a solution that has the best value for f1 (optimum-cycle-length) and related f2 (average delay time), while extreme-2 is a solution that consists of the best f2 and related f1.

Table 2. The extreme solutions found by the algorithms

	Extreme-1		Extreme-2	
	best-f1	f2	best-f2	f1
NSGAI	30.04	12.65	12.64	37.16
SPEA2	32.80	22.47	12.84	40.18
IBEA	30.60	13.86	11.88	36.11
SMPSO	31.83	14.70	12.46	39.16

The comparative results of performance indicators are listed in the tables below. Furthermore, the relationship between the intersection flow ratio and the optimum-cycle-length is shown in Fig. (1).

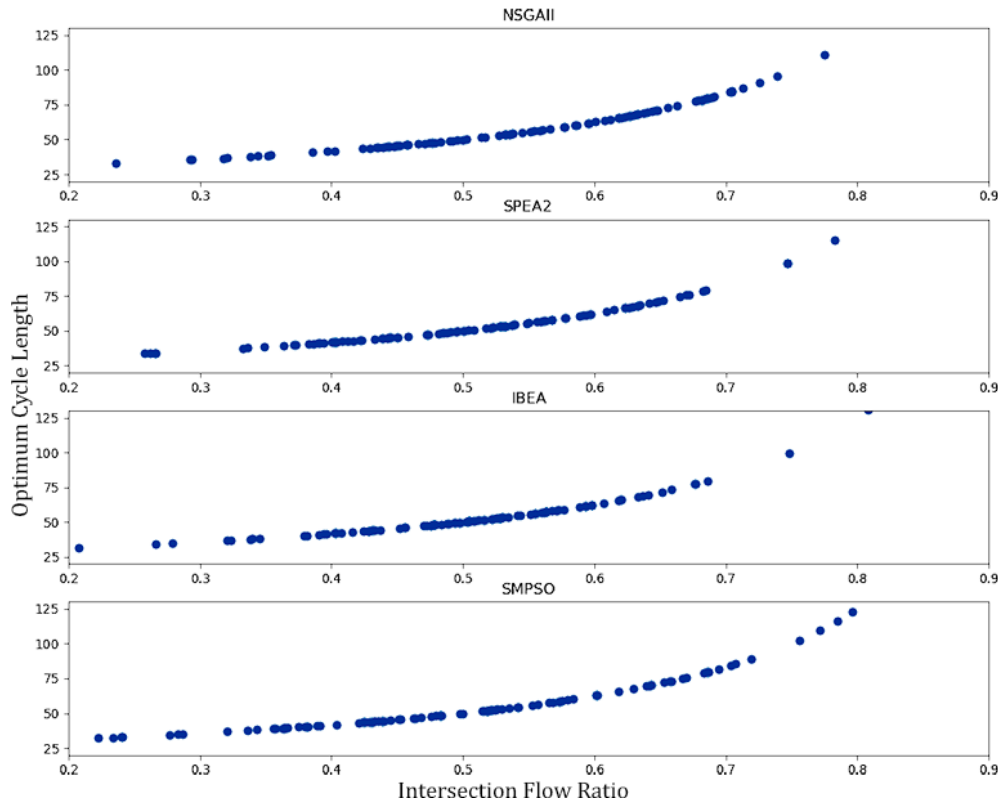


Figure 1. Relation between intersection flow ratio and optimum cycle length

The increase in the optimum-cycle-length due to the increase of the lost times as a result of the increase in the intersection flow ratio is seen in Fig. (1). The optimum-cycle-length is determined for the intersection where signalization should be established or signal durations should be updated after counting the vehicles. The determined signal duration is a parameter that will enable the intersection to operate efficiently. By means of this parameter, a signalization system can be mentioned where the signal time losses are minimized. According to the relationship between optimum-cycle-length and intersection flow ratio, optimum signalization durations are maintained. In this way, the applications performed in the form of trial and error will be disabled. The relation between the optimum-cycle-length and delay-time is shown in Fig. (2).

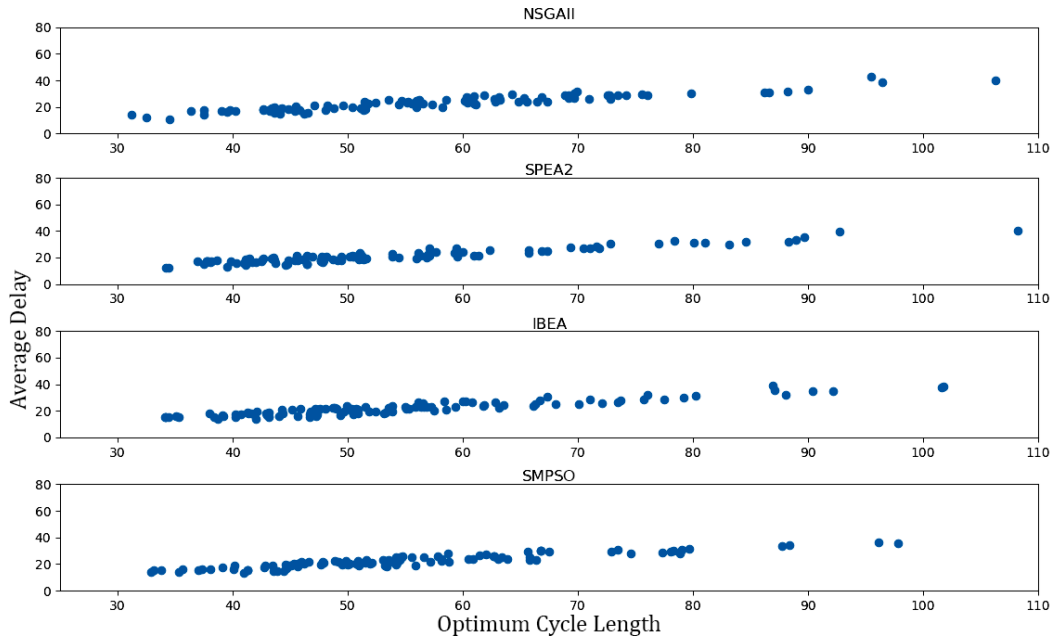


Figure 2. Relation between optimum cycle length and average delay time

When deciding the optimum-cycle-length at a fixed-time intersection, criteria other than the saturated flow values should be considered. One of these criteria is the average delay time per vehicle. The average delay time and cycle length are directly proportional to each other. In order to achieve a successfully operated signalization system, an approach in which there is no lost time or the lost time is minimized is required. With the approaches put forward in this study, signalization can be accomplished with multi-objective optimization. The focus in the multi-objective signal optimization approach is the relationship between the intersection flow ratio and the optimum-cycle-length, and the relationship between average delay and optimum-cycle-length.

Table-3 shows the HV results of the algorithms. It can be seen that NSGAII and IBEA were achieved the best result among the four algorithms. SP results are given in Table-4. The SMPSO algorithm for the SP metric, which is required to converge to zero for a good distribution on the Pareto front, obtained the best result. The results of the GD and IGD metrics comparing the accuracy of the obtained results are given in Table-5 and Table-6, respectively. IBEA has the most accurate values according to GD indicator, while SPEA-2 algorithm reached the most accurate values according to IGD indicator. Considering all results calculated with indicator values for each algorithm, it was seen that all four algorithms can find very close and effective outcomes. This is understood from the closeness of the values given in Table-2 and the similar distribution of Pareto-Optimal results obtained from algorithms shown in Fig. (1) and Fig. (2).

Table 3. The HV results for the signalization problem depend on Webster model

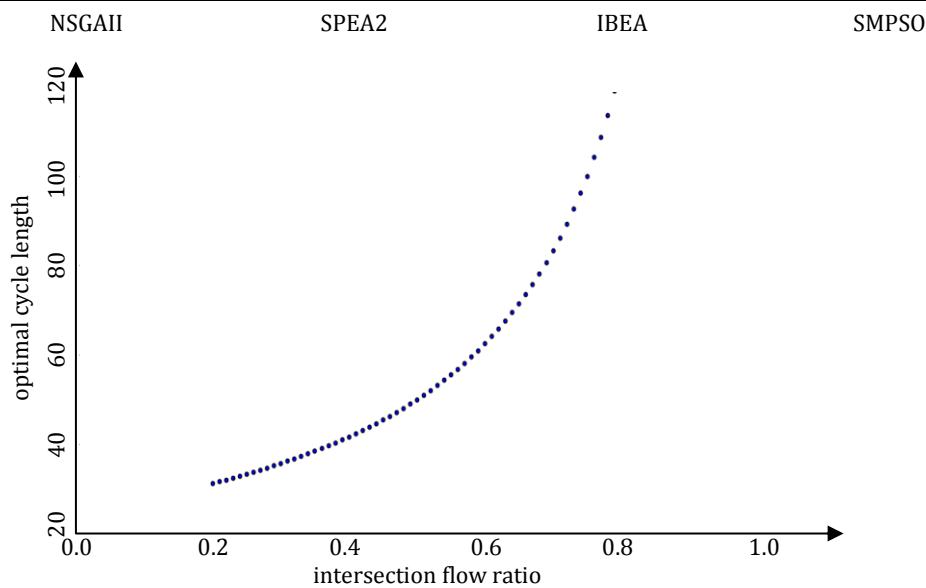


Figure 3. Pareto-front of the handled problem

mean	9.859E-01	9.853E-01	9.859E-01	9.857E-01
std	3.983E-05	2.225E-04	4.818E-05	1.715E-04

Table 4. The SP results for the signalization problem depend on Webster model

	NSGAII	SPEA2	IBEA	SMPSO
mean	3.647E-02	1.066E-01	4.214E-02	3.628E-02
std	7.742E-03	1.524E-02	1.287E-02	6.699E-03

Table 5. The GD results for the signalization problem depend on Webster model

	NSGAII	SPEA2	IBEA	SMPSO
mean	2.978E-04	2.991E-04	2.797E-04	4.165E-04
std	2.960E-05	1.426E-05	3.526E-05	5.367E-05

Table 6. The IGD results for the signalization problem depend on Webster model

	NSGAII	SPEA2	IBEA	SMPSO
mean	3.960E-01	2.909E-01	3.924E-01	3.878E-01
std	4.582E-03	1.048E-01	7.387E-03	8.723E-03

In order to test whether the indicator values calculated from the results obtained in the problem of determining the signal plans of the algorithms are statistically different from each other's values, Wilcoxon two-sided rank-sum test was applied in the 95% confidence interval and the results are given in Table 7-10. A p-value of less than 0.05 in the tables indicates that the results produced by an algorithm are statistically significantly different from the results of the algorithm compared. Significant differences are shown in the tables with a "+" sign. In summary, each of the state-of-the-art algorithms selected for use in this study has been seen to be successful algorithms that produce statistically significantly different results.

Table 7. Wilcoxon rank-sum test on HV indicator values of all algorithms

	SPEA2		IBEA		SMPSO	
	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>
NSGAII	1.8267e-04	+	0.52050000	-	6.3864e-05	+
SPEA2			1.8267e-04	+	6.3864e-05	+
IBEA					6.3864e-05	+

Table 8. Wilcoxon rank-sum test on SP indicator values of all algorithms

	SPEA2		IBEA		SMPSO	
	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>
NSGAII	1.8267e-04	+	0.3847000	-	6.3864e-05	+
SPEA2			1.8267e-04	+	6.3864e-05	+
IBEA					6.3864e-05	+

Table 9. Wilcoxon rank-sum test on GD indicator values of all algorithms

	SPEA2		IBEA		SMPSO	
	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>
NSGAII	0.2567000	-	0.3447	-	1.8267e-04	+
SPEA2			0.9097	-	1.8267e-04	+
IBEA					1.8267e-04	+

Table 10. Wilcoxon rank-sum test on IGD indicator values of all algorithms

	SPEA2		IBEA		SMPSO	
	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>

NSGAII	1.8267e-04	+	0.5205000	-	6.3864e-05	+
SPEA2			1.8267e-04	+	6.3864e-05	+
IBEA					6.3864e-05	+

4. Conclusions

In this study, optimum-cycle-length and average delay times per vehicle were calculated in a fixed time isolated signalized intersection control system. For this purpose, Webster's delay model is employed as the calculation method. This model was adapted to multi-objective optimization and signalization system is considered as an optimization problem. Four state-of-the-art multi-objective optimization algorithms NSGA-II, SPEA2, IBEA, and SMPSO were applied to the problem. In order to evaluate the results, four performance indicators were calculated, which are frequently used methods and called HV, SP, GD, and IGD. In terms of accuracy, the SPEA2 and IBEA algorithms showed relatively better results than the others. However, SMPSO algorithm achieved a better distribution on the Pareto front according to the SP metric. Besides these, NSGA-II and IBEA algorithms obtained the best results with respect to the HV metric that takes into account both criteria. On the other hand, all algorithms were able to find close and appropriate values for the signalization system. As a result, it has been shown that multi-objective optimization algorithms produce successful results in determining signal durations in isolated signalized intersections. By deciding the cycle length of signalized intersections with the mentioned algorithms, significant fuel savings and emissions of harmful gas emissions will be reduced.

Acknowledgment

We would like to thank Konya Metropolitan Municipality Transportation Traffic Signalization Branch, where the first author has worked for a while, for providing vehicle count values.

References

- [1] H. Chourabi *et al.*, "Understanding Smart Cities: An Integrative Framework," in *2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*, 4-7 Jan. 2012 2012, pp. 2289-2297, doi: 10.1109/HICSS.2012.615.
- [2] S. An, B. Lee, and D. Shin, "A Survey of Intelligent Transportation Systems," in *2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks*, 26-28 July 2011 2011, pp. 332-337, doi: 10.1109/CICSyN.2011.76.
- [3] V. Milanés, J. Villagra, J. Godoy, J. Simo, J. Perez, and E. Onieva, "An Intelligent V2I-Based Traffic Management System," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 49-58, 2012, doi: 10.1109/TITS.2011.2178839.
- [4] H.-Y. Cheng, V. Gau, C.-W. Huang, and J.-N. Hwang, "Advanced formation and delivery of traffic information in intelligent transportation systems," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 9, pp. 8356-8368, 2012/07/01/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.184>.
- [5] E. Öztürk, M. Çubuk, and S. Hatipoğlu, "Ankara için Bir Sinyal Zamanlaması Modeli: Besevler Kavsığı Örneği," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 12, pp. 49-57 2009, doi: 10.19113/sdufbed.83379.
- [6] Z. Li, M. Shahidehpour, S. Bahramirad, and A. Khodaei, "Optimizing Traffic Signal Settings in Smart Cities," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 8, no. 5, pp. 2382-2393, 2017, doi: 10.1109/TSG.2016.2526032.
- [7] P. Lowrie, "The Sydney coordinated adaptive traffic system - principles, methodology, algorithms," in *International conference on road traffic signalling*, London, 1982: Institution of Electrical Engineers.
- [8] G. Çetinkaya, "Işıklı Kavşaklarda Değişik Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması," Master, Graduate Program in Transportation Engineering, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, 2008. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11527/4881>
- [9] R. K. Kıyıldı, "Türkiye için Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Trafik Kazası Tahmini Araştırması," in *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Baku - Azerbaijan, 2017, pp. 1642-1651.
- [10] Z. Çakıcı and Y. Ş. Murat, "The Optimization of Traffic Signal Timing with Meta-Heuristic Differential Evolution Algorithm," presented at the International Conference on Intelligence Transportation Systems, Bandırma-Turkey, 2018.
- [11] P. Hao and C. Feng, "An optimization approach for intersection signal timing based on Multi-Objective Particle Swarm Optimization," in *2008 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, 21-24 Sept. 2008 2008, pp. 771-775, doi: 10.1109/ICCIS.2008.4670973.

- [12] S. Yanfang and X. Jianmin, "Multi-objective optimization of oversaturated signalized intersection based on fuzzy logic," in *2010 8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 7-9 July 2010 2010, Jinan, China, pp. 5008-5013, doi: 10.1109/WCICA.2010.5554700.
- [13] A. Y. Zakariya and S. I. Rabia, "Estimating the minimum delay optimal cycle length based on a time-dependent delay formula," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 55, no. 3, pp. 2509-2514, 2016/09/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.029>.
- [14] E. M. Estrada, L. Noreña, A. Sarrazola, and J. Espinosa, "MOSTRO: A multi-objective system for traffic optimization," in *2017 IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, 18-20 Oct. 2017 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/CCAC.2017.8276381.
- [15] J. Chen, "A robust multi-objective compatible optimization control algorithm for traffic signal control," in *17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 8-11 Oct. 2014 2014, pp. 1850-1856, doi: 10.1109/ITSC.2014.6957962.
- [16] F. Shen and X. Yang, "Optimization Algorithm of Urban Road Traffic Signal Plan Based on NSGAI," in *2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, 20-22 Oct. 2008 2008, vol. 2, pp. 398-401, doi: 10.1109/ICICTA.2008.316.
- [17] H. Hu, Y. Gao, and X. Yang, "Multi-objective Optimization Method of Fixed-Time Signal Control of Isolated Intersections," in *2010 International Conference on Computational and Information Sciences*, 17-19 Dec. 2010 2010, pp. 1281-1284, doi: 10.1109/ICCIS.2010.316.
- [18] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *Ieee T Evolut Comput*, vol. 6, no. 2, pp. 182-197, 2002.
- [19] E. Zitzler, M. Laumanns, and L. Thiele, "SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm," *TIK-report*, vol. 103, 2001.
- [20] E. Zitzler and S. Künzli, "Indicator-based selection in multiobjective search," in *International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, 2004: Springer, pp. 832-842.
- [21] A. J. Nebro, J. J. Durillo, J. Garcia-Nieto, C. A. C. Coello, F. Luna, and E. Alba, "SMPSO: A new PSO-based metaheuristic for multi-objective optimization," in *2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multi-Criteria Decision-Making*, 2009, pp. 66-73, doi: 10.1109/MCDM.2009.4938830.
- [22] F. V. Webster, *Traffic signal settings* (Road research technical paper, no. 39.). London : H.M.S.O.: Government publication, National government publication, 1958, p. 44.
- [23] H. C. Manual, "Transportation Research Board of the National Academies," *Washington, DC*, p. 2010, 2010.
- [24] R. Akcelik, *Traffic signals: capacity and timing analysis* (Publication of: Australian Road Research Board). Melbourne, Victoria Australia: ARRB, 1981, p. 109.
- [25] C. A. C. Coello, G. B. Lamont, and D. A. Van Veldhuizen, *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems* (Genetic and Evolutionary Computation Series book series (GEVO)). Springer, 2007.
- [26] A. Osyczka, *Evolutionary algorithms for single and multicriteria design optimization*. New York: Physica Verlag, 2002.
- [27] D. W. Corne, N. R. Jerram, J. D. Knowles, and M. J. Oates, "PESA-II: region-based selection in evolutionary multiobjective optimization," presented at the Proceedings of the 3rd Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, San Francisco, California, 2001.
- [28] Y. Jin, T. Okabe, and B. Sendho, "Adapting Weighted Aggregation for Multiobjective Evolution Strategies," Berlin, Heidelberg, 2001: Springer Berlin Heidelberg, in *Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, pp. 96-110.
- [29] H. Ishibuchi and T. Murata, "A multi-objective genetic local search algorithm and its application to flowshop scheduling," *Trans. Sys. Man Cyber Part C*, vol. 28, no. 3, pp. 392-403, 1998, doi: 10.1109/5326.704576.
- [30] Q. Zhang and H. Li, "MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition," *Ieee T Evolut Comput*, vol. 11, no. 6, pp. 712-731, 2007, doi: 10.1109/TEVC.2007.892759.
- [31] E. Zitzler and S. Künzli, "Indicator-Based Selection in Multiobjective Search," Berlin, Heidelberg, 2004: Springer Berlin Heidelberg, in *Parallel Problem Solving from Nature - PPSN VIII*, pp. 832-842.
- [32] N. Beume, B. Naujoks, and M. Emmerich, "SMS-EMOA: Multiobjective selection based on dominated hypervolume," *Eur J Oper Res*, vol. 181, no. 3, pp. 1653-1669, 2007/09/16/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.08.008>.
- [33] N. Riquelme, C. V. Lücken, and B. Baran, "Performance metrics in multi-objective optimization," in *2015 Latin American Computing Conference (CLEI)*, 19-23 Oct. 2015 2015, pp. 1-11, doi: 10.1109/CLEI.2015.7360024.
- [34] E. Zitzler and L. Thiele, "Multiobjective optimization using evolutionary algorithms — A comparative case study," Berlin, Heidelberg, 1998: Springer Berlin Heidelberg, in *Parallel Problem Solving from Nature — PPSN V*, pp. 292-301.
- [35] Z. Aimin, J. Yaochu, Z. Qingfu, B. Sendhoff, and E. Tsang, "Combining Model-based and Genetics-based Offspring Generation for Multi-objective Optimization Using a Convergence Criterion," in *2006 IEEE*

- International Conference on Evolutionary Computation*, 16-21 July 2006 2006, pp. 892-899, doi: 10.1109/CEC.2006.1688406.
- [36] T. T. Binh and U. Korn, "Multiobjective evolution strategy with linear and nonlinear constraints," in *Proc. of the 15th IMACS World Congress on Scientific Computation, Modeling and Applied Mathematics*, 1997, pp. 357-362.
- [37] C. A. C. Coello and N. C. Cortés, "Solving Multiobjective Optimization Problems Using an Artificial Immune System," *Genetic Programming and Evolvable Machines*, journal article vol. 6, no. 2, pp. 163-190, June 01 2005, doi: 10.1007/s10710-005-6164-x.
- [38] A. J. Nebro, J. J. Durillo, J. Garcia-Nieto, C. A. C. Coello, F. Luna, and E. Alba, "SMPSO: A new PSO-based metaheuristic for multi-objective optimization," in *2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multi-Criteria Decision-Making(MCDM)*, 30 March-2 April 2009 2009, pp. 66-73, doi: 10.1109/MCDM.2009.4938830.
- [39] D. Hadka, "Platypus: A free and open source python library for multiobjective optimization," *Available on Github*, vol. <https://github.com/Project-Platypus/Platypus>, 2017.

Bazı Yonca Çeşitlerinde Farklı Temel Besin Ortamlarının Somatik Embriyogenesis Üzerine Etkisi

Nilgün EKİNCİ ¹ , Satı UZUN ¹ 

¹Erciyes Üniversitesi Seyrani Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, KAYSERİ

(Alınış / Received: 13.09.2019, Kabul / Accepted: 03.03.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Medicago sativa,
Somatik embriyogenesis,
Sürgün rejenerasyonu,
Temel besin ortamı

Öz: Farklı yonca çeşitlerinin somatik embriyogenesis ile bitki rejenerasyonuna tepkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada Prosementi, Gea, Savaş, Ömerbey, OS66, Artemis ve Classe yonca çeşitleri kullanılmıştır. Çeşitlere ait fidelerden elde edilen kotiledon ve yaprak eksplantları 4 mg/L 2,4-D, 0.5 mg/L kinetin, 2 g/L prolin ve 30 g/L sukroz içeren, 8 g/L agar ile katılaştırılan dört farklı (MS, B5, SH ve N6) temel besin ortamında kültüre alınmıştır. Araştırma 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 10 eksplant olacak şekilde tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Araştırma sonucunda petri başına kallus ağırlığı, petri başına somatik embriyo ve bitkicik sayıları sırasıyla 0.253-6.700 g, 0-19.667 adet ve 0-6.667 adet arasında değişim göstermiştir. Yaprak eksplantında en fazla petri başına somatik embriyo ve bitkicik sayısı Ömerbey yonca çeşidinde SH temel besin ortamında elde edilirken, Kotiledon eksplantında ise en yüksek petri başına somatik embriyo sayısı OS 66 çeşidinde N6 besin ortamında elde edilmiş olup, hiç bitkicik gelişimi belirlenmemiştir.

The Effects of Different Basal media on Somatic Embryogenesis in Some Alfalfa Cultivars

Keywords

Medicago sativa,
Somatic embryogenesis
Shoot regeneration,
Basal media

Abstract: In order to determine the responses of different alfalfa genotypes to plant regeneration through somatic embryogenesis, Prosementi, Gea, Savaş, Ömerbey, OS66, Artemis and Classe alfalfa cultivars were used. Leaflet and cotyledon explants of the cultivars were cultured on different basal media (MS, B5, SH and N6) containing 4 mg/L 2,4-D, 0.5 mg/L kinetin, 2 g/L proline and 30 g/L sucrose solidified with 8 g/L agar. The research was carried out in a randomized plots-factorial experimental design with 3 replications and 10 explants per replication. As a result of the research, callus weight per petri dish, the number of somatic embryos and plantlets per petri dish varied respectively between 0.253-6.700 g, 0-19.667 and 0-6.667. The maximum number of somatic embryos and plantlets per petri dish was obtained from Ömerbey alfalfa cultivar cultured on SH basal medium in the leaflet explant; whereas in the cotyledon explant, the highest number of embryos per petri dish was obtained from N6 medium in OS 66 cultivar and no plantlet regeneration was achieved from cotyledon explants.

*İlgili Yazar, email: scocu@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Yonca (*Medicago sativa* L.) yeryüzünde en fazla tarımı yapılan, uzun ömürlü çok yıllık ve yabancı döllen bir yem bitkisidir. Dik ya da yatık gelişen formları bulunabilir (1). Yonca çok geniş bir adaptasyon yeteneğine sahiptir. Yonca, iyi gelişmiş derinlere inen kök sistemi ile genel olarak kurağa dayanıklıdır. Ancak, yıl içinde çok sayıda biçim vermesi ve her biçimden sonra çok fazla yeşil aksam oluşturmaması nedeniyle diğer kültür bitkilerine oranla suya gereksinimi daha yüksektir. Yonca bölgenin vejetasyon süresine de bağlı olarak yıl içerisinde kurak alanlarda sulanarak yağışlı bölgelerde ise sulanmadan yağışa bağlı olarak 3-7 defa biçilebilir. Yem bitkilerinin kraliçesi olarak bilinen yonca %18-25 oranında protein içerir, hayvanlar için yaş ya da kuru ot olarak hem çok lezzetli hem de vitaminlerce çok zengindir. Özellikle; Tokoferol, Karotin, Ksantofil ve Vitamin A değerleri çok

yüksektir (2). Yonca; hayvan beslenmesindeki öneminin yanı sıra örtücü bitki, yeşil gübre ve toprak ıslahı açısından da çok önemlidir. Baklagil yem bitkisi olmasından dolayı havadaki azotu toprağa bağlar ve dolayısı ile kendisinden sonra ekilecek yüzlek köklü bitkilere organik madde ve azot bakımından zengin, su tutma kapasitesi yüksek kaliteli toprak bırakır. İyi gelişmiş kazık kök yapısı ile de toprağın derinlerindeki besin maddelerini üst katmanlara taşır (2).

Günümüzde doku kültürü teknikleri bitki ıslahında ve bitkilerin ticari üretiminde çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bitki doku kültürü işlemlerinin temeli bitki rejenerasyonudur. Meristematik olmayan somatik hücrelerden rejenerasyon; hücre veya dokulardan değişime neden olacak uygulamalarla sürgün taslakları oluşturmak (Organogenesis) veya somatik embriyogenesis yoluyla olmaktadır (3). Vejetatif hücrelerden gelişen embriyolar somatik embriyo olarak adlandırılmaktadır. Somatik embriyo oluşumu için somatik dokular yüksek oranda oksin içeren ortamda kültüre alındığında embriyo üretme yeteneği kazanmaktadır. Zigottan gelişen bitki embriyosunun gösterdiği gelişim safhalarını somatik embriyolar da gösterir. Ancak somatik embriyolar bir endosperm içermezler (3). Somatik embriyogenesis gen aktarım çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Yoncada in vitro rejenerasyon genellikle somatik embriyogenesis ile yapılmaktadır (4). Somatik embriyogenesis yoluyla ilk rejenerasyon çalışması 1972 yılında Saunders ve Bingham tarafından (5) yapılmış ve günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından somatik embriyogenesis ile bitki rejenerasyonu çalışması yürütülmüştür. Yoncada daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde; yaprak (6), yaprak sapı (7, 8), olgunlaşmamış embriyo (9), hipokotil (10), süspansiyon kültürü ve mezofil protoplastları (11) gibi farklı bitki kısımlarından somatik embriyogenesis ile bitki rejenerasyonu elde edilmiştir. Ancak yoncada yapılan somatik embriyogenesis çalışmalarında büyük ölçüde genotipe bağlı bir rejenerasyon görülmektedir (12). Bu nedenle bu çalışmada bazı yonca çeşitlerinde somatik embriyogenesis ile bitki rejenerasyonu amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada; Prosementi Bologna, Gea, Savaş, Ömerbey, OS66, Artemis ve Classe yonca çeşitleri kullanılmıştır. Çeşitlere ait tohumlar steril kabin içerisinde manyetik karıştırıcı kullanılarak %50 ticari çamaşır suyu içerisinde 15 dakika süre ile sterilize edildikten sonra; tohumlar 3 defa 5'er dakika olmak üzere saf sudan geçirilip, 30 g/L sukroz, 8 g/L agar içeren MS besin ortamına çimlendirilmiştir.

Çimlendirme başlangıcından yaklaşık 15-25 gün sonra somatik embriyogenesis ile bitki rejenerasyonu elde etmek amacıyla çeşitlere ait steril bitkiciklerden elde edilen kotiledon ve yaprak eksplantları 4 mg/L 2,4-D, 0.5 mg/L kinetin, 2 g/L prolin ve 30 g/L sukroz içeren, 8 g/L agar ile katılaştırılan dört farklı (MS, B5, SH ve N6; 13-16) temel besin ortamında kültüre alınmıştır. Kültür başlangıcından yaklaşık 50-60 gün sonra oluşan kalluslar 30 g/L şeker içeren 8 g/L agar ile katılaştırılmış MS besin ortamına aktarılmıştır. Araştırmada her petri kabına 10 eksplant yerleştirilmiş olup, petri başına kallus ağırlığı ve petri başına embriyo sayısı ve petri başına bitkicik sayısı parametreleri belirlenmiştir (Şekil 1.).

Çalışmada kullanılan petri, magenta, pens, bisturi, beher, saf su ve besin ortamlarının sterilizasyonunda otoklav kullanılmıştır. Otoklavda sterilizasyon işlemi 1.2 atmosfer basınç altında 121°C'de 20 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Tüm doku kültürü çalışmaları steril kabin içerisinde yapılmıştır. Hazırlanan besin ortamlarının pH'sı 1N NaOH ve 1N HCl kullanılarak 5.6 ile 5.8 arasında ayarlanmıştır. Tüm kültürler 16 saat aydınlık 8 saat karanlık fotoperiyotta, 22±2°C'de ve 3000 lüks ışık yoğunluğundaki iklim dolabı içerisinde bekletilmiştir.

Denemeler tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü her tekerrürde 10 eksplant, olacak şekilde yürütülmüştür. Araştırma sonucunda elde edilen verilerin varyans analizi "SPSS for Windows" programı ile yapılmıştır. Muamele ortalamaları Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular

Farklı yonca çeşitlerinde in vitro bitki rejenerasyonu elde etmek amacıyla yürütülen bu çalışmada Prosementi, Gea, Savaş, Ömerbey, OS66, Artemis ve Classe yonca çeşitleri kullanılmıştır. Çeşitlere ait yaprak ve kotiledon eksplantları 4 mg/L 2,4-D, 0.5 mg/L kinetin, 2 g/L prolin ve 30 g/L sukroz içeren, 8 g/L agar ile katılaştırılan dört farklı MS, B5, SH ve N6 temel besin ortamlarında kültüre alınmıştır. Araştırma sonucunda tüm çeşitlerde her iki eksplantta da bütün ortamlarda kallus oluşumu gözlenmiştir. Yapılan varyans analiz sonuçlarında petri başına kallus ağırlığında; çeşit, ortam, eksplant, çeşit x ortam, çeşit x eksplant ve çeşit x ortam x eksplant istatistiksel olarak 0.01 düzeyinde, ortam x eksplant 0.05 düzeyinde, petri başına somatik embriyo sayısında; eksplant, çeşit x ortam ve çeşit x ortam x eksplant 0.01 düzeyinde, petri başına bitkicik sayısında ise; eksplant, çeşit x ortam ve çeşit x ortam x eksplant 0.01 düzeyinde çeşit, ortam, çeşit x eksplant, ortam x eksplant 0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur.

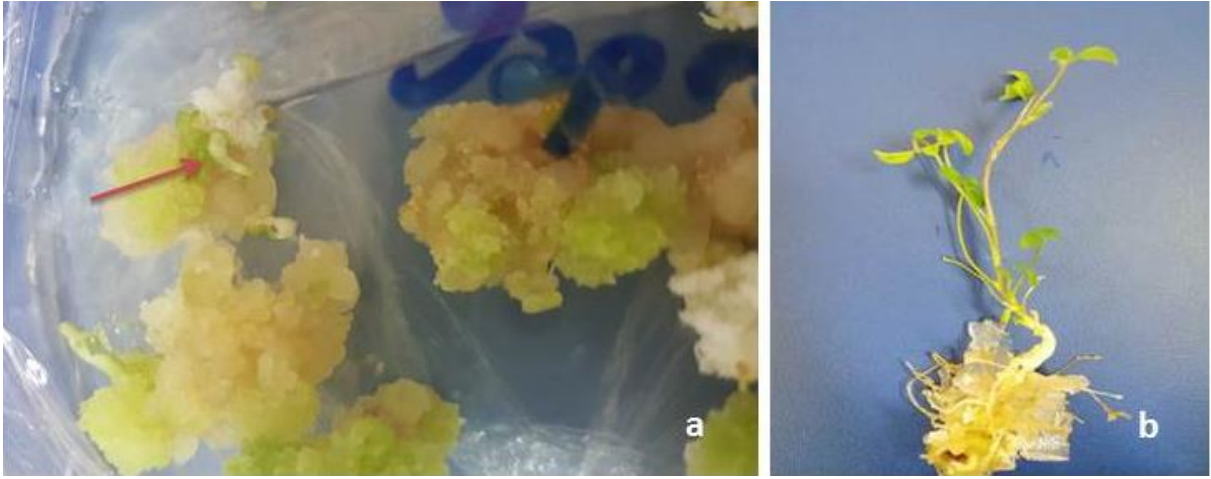
Tablo 1. Bazı yonca çeşitlerinde kotiledon ve yaprak eksplantlarından farklı temel besin ortamlarında elde edilen petri başına kallus ağırlığı, petri başına somatik embriyo sayısı ve petri başına bitkicik sayısına ait ortalama değerler

Çeşit	Temel Besin Ortamı	Petri Başına Kallus Ağırlığı (g/petri)		Petri Başına Somatik Embriyo Sayısı (adet/petri)		Petri Başına Bitkicik Sayısı (adet/petri)	
		Yaprak	Kotiledon	Yaprak	Kotiledon	Yaprak	Kotiledon
Prosementi	N6	3.213 bcd*	1.417 j-s	0 f*	0 f	0 d*	0 d
	MS	2.673 c-h	1.943 e-o	1.333 f	0 f	0 d	0 d
	SH	2.311 d-l	1.187 m-t	0.333 f	0 f	0 d	0 d
	B5	3.570 bc	1.320 l-s	12.00 bcd	0 f	3.667 b	0 d
Gea	N6	2.853 b-f	2.467 d-j	0.67 f	0 f	0 d	0 d
	MS	1.740 g-q	2.310 d-l	0 f	0 f	0 d	0 d
	SH	1.507 ı-s	1.623 h-r	13.00 abc	0 f	2.667bc	0 d
	B5	1.267 l-t	1.077 n-t	0 f	0 f	0 d	0 d
Savaş	N6	1.017 n-t	1.330 l-s	0 f	0.667 f	0 d	0 d
	MS	1.350 k-s	2.503 d-ı	0 f	0 f	0 d	0 d
	SH	0.503 st	0.807 p-t	0 f	0 f	0 d	0 d
	B5	0.617 rst	0.937 n-t	0 f	0 f	0 d	0 d
Ömerbey	N6	3.180 bcd	2.393 d-k	5.667 c-f	0 f	1.000 cd	0 d
	MS	1.717 g-q	2.703 c-g	0 f	0.333 f	0 d	0 d
	SH	1.327 l-s	1.533 ı-s	19.667 a	0 f	6.667 a	0 d
	B5	0.877 o-t	1.260 l-t	1.00 f	0.333 f	0 d	0 d
Artemis	N6	1.950 e-o	2.640 c-h	3.333 ef	0 f	0 d	0 d
	MS	6.700 a	0.253 t	3.00 ef	0 f	0 d	0 d
	SH	1.893 f-o	2.203 d-m	6.333 c-f	0 f	0.667 d	0 d
	B5	1.973 e-n	2.257d-l	1.000 f	0 f	0 d	0 d
Classe	N6	3.140 bcd	3.020 bcd	4.667 def	0 f	0 d	0 d
	MS	2.560 c-ı	3.783 b	10.333 b-e	0 f	0 d	0 d
	SH	0.757 p-t	1.143 m-t	4.667 def	2.000 de	0 d	0 d
	B5	1.530 ı-s	1.290 l-t	4.667 def	0 f	0 d	0 d
OS 66	N6	1.820 f-p	1.790 g-q	16.333 ab	5.333 cde	0 d	0 d
	MS	2.957 b-e	0.723 q-t	2.667 ef	0 f	0 d	0 d
	SH	1.500 ı-s	1.243 l-t	4.333 def	2.333 ef	0 d	0 d
	B5	1.523 ı-s	0.563 rst	3.333 ef	0 f	0 d	0 d

*: Aynı satırda ve sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık 0.05 düzeyinde önemlidir.

Araştırma sonucunda en yüksek kallus ağırlığı petri başına 6.7 g ile Artemis çeşidinde yaprak eksplantında MS besin ortamında elde edilirken en düşük yine Artemis çeşidinde kotiledon eksplantında MS besin ortamında elde edilmiştir (Tablo 1.). En fazla petri başına somatik embriyo sayısı ise Prosementi çeşidinde B5 besin ortamında; Gea, Ömerbey ve Artemis çeşitlerinde SH besin ortamında; Classe çeşidinde MS besin ortamında ve OS-66 çeşidinde ise N6 besin ortamında yaprak eksplantında belirlenmiştir. Savaş çeşidinde ise sadece kotiledon eksplantında N6 besin ortamında somatik embriyo gözlenmiştir. En yüksek petri başına somatik embriyo sayıları yaprak eksplantında Prosementi, Gea, Ömerbey, Artemis, Classe ve OS-66 çeşitlerinde sırasıyla 12.00, 13.00, 19.667, 6.333, 10.333 ve 16.333 adet, kotiledon eksplantında ise Savaş, Ömerbey, Classe ve OS-66 çeşitlerinde sırasıyla 0.667, 0.333, 2 ve 5.333 adet olarak kaydedilmiştir.

Petri başına bitkicik sayıları incelendiğinde kotiledon eksplantında yonca çeşitlerinde hiçbir ortamda bitkicik gelişimi olmamıştır. Ancak yaprak eksplantında Prosementi çeşidinde 3.667 adet ile B5, Gea ve Artemis çeşitlerinde 2.667 ve 0.667 adet ile SH, Ömerbey çeşidinde ise 1.00 ve 6.667 adet ile N6 ve SH besin ortamlarında bitkicik gelişimi belirlenmiştir.



Şekil 1. Ömerbey yonca çeşidinde somatik embriyogenesis ile bitki rejenerasyonu

a. Kallus oluşumu ve embriyo gelişimi; b. Bitkicik gelişimi

4. Tartışma ve Sonuç

Daha önce yonca ile yapılan çalışmalarda somatik embriyo oluşumunda etkili olan faktörler genotip, eksplant kaynağı ve besin ortamının içeriği olarak bildirilmektedir (8). Brown ve Atanassov (17), yürüttükleri çalışmada; farklı yonca türlerinden 76 genotipi somatik embriyo ve kallus üretim kapasiteleri açısından kıyaslamışlardır. Kallus ve embriyogenesis açısından genotipler arasında büyük bir varyasyon gözlemlemişlerdir. Eksplant ve ortam protokolü ne olursa olsun yüksek rejenerasyon kapasitesine sahip genotiplerin düşük rejenerasyon kapasitesine sahip genotiplerden daha fazla somatik embriyo ürettiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Chen ve Marowitch (18), *Medicago falcata*'da somatik embriyo oluşturmak amacıyla 17 ekotip incelemiş, eksplant kaynağı olarak ise kotiledon, kök, hipokotil ve yaprak kullanmışlardır. Araştırma sonucunda genotip ve rejenerasyon yeteneği arasında önemli bir ilişki olduğunu ve 17 ekotipin 10 tanesinin rejenerasyon yeteneğine sahip olduğunu bildirmiştir. Nolan vd. (19) ise *M. truncatula* türünde tohumdan gelişen bitkilerden alınan yapraklar eksplant olarak kullanıldığında rejenerasyon oranı düşükken rejenere olan bitkiler eksplant kaynağı olarak kullanıldığında rejenerasyon oranının yüksek olduğunu, Moltrasio vd. (4) de resiprokal melezler ve anaç klonların kendilenmiş döller ile yürüttükleri denemelerde somatik embriyogenesisin iki tamamlayıcı genin kontrolü altında olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer şekilde bu çalışmada da çeşitler arasında embriyogenesis açısından önemli farklılıklar gözlenmiştir. Şavaş çeşidi dışında diğer çeşitlerde yaprak eksplantında ortamlara göre değişen sayılarda somatik embriyo elde edilirken, Şavaş çeşidinde somatik embriyo oluşumu gerçekleşmemiştir.

Erişen (8) somatik embriyogenesis ile rejenerasyonun büyük oranda genotipe bağlı olduğu ancak kullanılan protokoller ve eksplant seçiminin de embriyo oluşumunda etkili olduğunu bildirmektedir. Erişen (8) rejenerasyon yeteneğine sahip Verco çeşidinde yaprak eksplantında eksplant başına 94 adet somatik embriyo elde ederken, yaprak sapı eksplantında 6 adet somatik embriyo elde etmiştir ve elde ettiği somatik embriyo sayılarının bu denemede elde edilen değerlerden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da eksplantlar arasında somatik embriyo sayıları bakımından farklılıklar gözlenmiş olup yaprak eksplantında petri başına daha fazla sayıda somatik embriyo sayılmıştır.

Temel besin ortamları incelendiğinde ise yaprak eksplantında çeşitlere göre değişmekle birlikte N6, B5 ve SH ortamlarında daha fazla petri başına somatik embriyo sayısı elde edilmiştir. En fazla petri başına bitkicik sayıları ise Prosementi çeşidinde B5 ortamında elde edilirken; Gea, Ömerbey ve Artemis çeşitlerinde SH ortamında elde edilmiştir. Takamizo vd. (20), 26 yonca çeşidinde somatik embriyo oluşumunu inceledikleri çalışmalarında B2, B5h, UM ve SH ortamlarını kullanmıştır. Araştırma sonucunda Tachiwakaba yonca çeşidinde hipokotil eksplantında somatik embriyo gelişimi için en uygun ortamın 4 mg/L 2,4.D ve BAP içeren UM ortamı olduğunu tespit etmişlerdir. Sangra vd (12) ise yoncada B5H-B5 kallus ve embriyo geliştirme ortamlarının yüksek embriyo verimi ve bitkiciğe dönüşüm oranı verdiğini bildirmektedir. Saha vd. (21) bitki türlerinde embriyo rejenerasyonu ve gelişimi için her elementin ayrı bir etkiye sahip olduğunu, ortamın makro ve mikro element içeriğinin embriyo oluşumunu ve gelişimini etkilediğini rapor etmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında ülkemizde yetiştirilen bazı yonca çeşitlerinde öncelikle somatik embriyogenesis ile bitki rejenerasyonu amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda kullanılan çeşitler değerlendirildiğinde en yüksek somatik embriyo ve bitkicik sayısı sırasıyla 19.667 ve 6.667 adet ile Ömerbey çeşidinden SH temel besin ortamında yaprak eksplantından elde edilmiştir. Petri başına somatik embriyo ve petri başına bitkicik sayılarında çeşit x

eksplant x ortam interaksyonu önemli bulunmuştur. Petri başına somatik embriyo ve bitkicik sayıları birlikte değerlendirildiğinde Ömerbey çeşidinin somatik embriyogenesis ile bitki rejenerasyonu için ümitvar bir çeşit olduğu söylenebilir.

Kaynakça

- [1] Elçi, Ş., 2005. Baklagil ve Buğdaygil Yem Bitkileri. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Ankara, 486 s.
- [2] Serin, Y., Tan, M., 2001. Baklagil Yem Bitkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum, 177 s.
- [3] Babaoğlu, M., Yorgancılar, M., Akbudak, A.A., 2001. Doku Kültürü: Temel Laboratuvar Teknikleri, 1-35. In: Bitki Biyoteknolojisi- Doku Kültürü ve Uygulamaları (Eds: M. Babaoğlu, E. Gürel, S. Özcan). Selçuk Üniversitesi Vakfı
- [4] Moltrasio, R., Robredo, C. G., Gómez, M. C., Paleo, A. H. D., Díaz, D. G., Rios, R. D., Franzone, P. M. 2004. Alfalfa (*Medicago sativa*) somatic embryogenesis: genetic control and introduction of favourable alleles into elite Argentinean germplasm. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 77(2), 119-124.
- [5] Saunders, J.W. ve Bingham, E.T., 1972. Production of alfalfa plants from callus tissue. *crop science*, 12: 804-808.
- [6] Barbulova, A. Alantcheva, A., Zhiponova, M., Vlahoca, M., Atassanov A., 2002. Establishment of embryogenic potential of economically important Bulgarian alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.). *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 16(1), 55-63.
- [7] Lai, F., Bryan D, McKersie. 1994. Regulation of storage protein synthesis by nitrogen and sulfur nutrients in alfalfa (*Medicago sativa* L.) somatic embryos. *Plant science*, 103, 209-221.
- [8] Erişen, S. 2005. Yonca (*Medicago sativa* L.)'da somatik embriyogenesis aracılığıyla bitki rejenerasyonu, *Tarım Bilimleri Dergisi* ,11(3),311-315
- [9] Ninkovic, S., Miljus-Djukic, J., Neskovic, M., 1995. Genetic transformation of alfalfa somatic embryos and their clonal propagation through repetitive somatic embryogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 42 (3), 255-260.
- [10] Meijer, E.G.M., Brown, D.C.W., 1987. Role of exogenous reduced nitrogen and sucrose in rapid high frequency somatic embryogenesis in *Medicago sativa*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 10,11-19.
- [11] Atanassov, A., Brown, D.C., 1984. Plant regeneration from suspension culture and mesophyll protoplasts of *Medicago sativa* L. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 3(2),149-162.
- [12] Sangra, A., Shahin, L., & Dhir, S. K. (2019). Long-Term Maintainable Somatic Embryogenesis System in Alfalfa (*Medicago sativa*) Using Leaf Explants: Embryogenic Sustainability Approach. *Plants*, 8(8), 278.
- [13] Murashige, T., Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473-497.
- [14] Gamborg, O. L., Miller, R., Ojima, K. 1968. Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. *Experimental Cell Research*, 50(1), 151-158.
- [15] Schenk, R. U., Hildebrandt, A. C. 1972. Medium and techniques for induction and growth of monocotyledonous and dicotyledonous plant cell cultures. *Canadian Journal of Botany*, 50(1), 199-204.
- [16] Chu, C. C., Wang, C. C., Sun, C. S., Hsu, C., Yin, K. C., Chu, C. Y., Bi, F. Y. 1975. Establishment of an efficient medium for anther culture of rice through comparative experiments on the nitrogen. *Sci. Sinica*, 18659-668.
- [17] Brown, D.C.W, Atanassov, A., 1985. Role of genetic background in somatic embryogenesis in *Medicago*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 4,111-122.
- [18] Chen, T.H.H., Marowitch, J., 1987. Screening of *Medicago falcata* germplasm for in vitro regeneration. *Journal Plant Physiology*, 128, 271-277.
- [19] Nolan, K.E., Rose, R.J., Gorts, J.R., 1989. Regeneration of *Medicago trunculata* from tissue culture: increased somatic embryogenesis using explants from regenerated plants. *Plant Cell Reports*, 8, 278-281.
- [20] Takamizo, T., Sugino, K., Ohsugi, R., 1991. Somatic embryogenesis in a recalcitrant cultivar of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in an improved medium. *Bulletin of the National Grassland Research Institute (Japan)*, 44, 15-22.
- [21] Saha, P., Bandyopadhyay, S., Raychaudhuri, S.S., 2011. Formulation of nutrient medium for in vitro somatic embryo induction in *Plantago ovata* Forsk. *Biological Trace Element Research*, 140(2), 225-243.

Yanal Yüklere Maruz Kalan Kolonların SAP2000 ile Monotonik ve Histeretik Analizi

Sıla AVĞIN¹*, M.Metin KÖSE¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

(Alınış / Received: 2.12.2019, Kabul / Accepted: 05.08.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Zayıf kolon,
Eğilme deformasyonu,
Kesme deformasyonu,
Donatı sıyrılması,
SAP2000,
Histeretik model

Öz: Birçok ülkede betonarme binaların çoğunluğu güncel sismik kodlara göre tasarlanmamıştır. Bu binalar genellikle güçlü zemin hareketleri sırasında hasara ve çökmeye karşı hassastır. Tipik olarak, bu tür binalardaki kolonlar yetersiz ve geniş aralıklı enine donatıya sahip olup gerekli sismik donatı detaylarından yoksundur. Bu binaların deprem hasarı değerlendirilirken gözlemlenen davranışın mukavemet ve deformasyon kapasitesi açısından değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bir kolondaki yanal deformasyonlar eğilme, donatı sıyrılması ve kesme deformasyonları olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Bu deformasyonların her biri için SAP2000 programıyla monotonik ve histeretik tepkileri ayrı modellenmiştir. Öncelikle kolon monotonik modeldeki eğilme, donatı sıyrılması ve kesme deformasyonları için plastik mafsallı model ile, daha sonra histeretik modelde ise monotonik modelden elde edilen sonuçlar SAP2000 histeretik pivot modelinde kullanılarak modellenmiştir. SAP2000 modellerinden elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırıldığında, kullanılan modellerin, betonarme kolonların yanal yüklere tepkisini tahmin etmede iyi bir performans sergilediği gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, daha kompleks analiz metodları ile çözülen monotonik ve histeretik kolon yanal deformasyon modellerinin SAP2000 programıyla daha basit halde çözülebildiği gösterilmiştir.

Monotonic and Hysteretic Analysis of Columns Exposed to Lateral Load with SAP2000

Keywords

Weak column,
Flexural deformation,
Shear deformation,
Reinforcement slip,
SAP2000,
Hysteretic Model

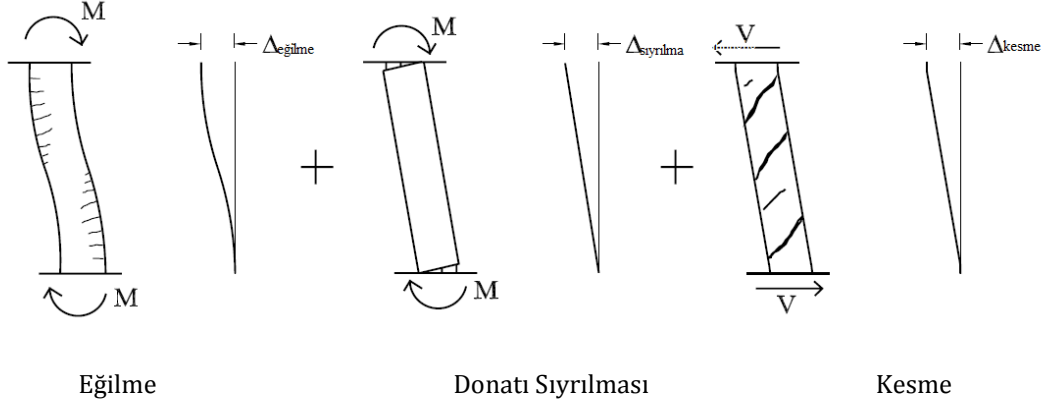
Abstract: Majority of the concrete buildings in many countries are not designed according to the current seismic codes. These buildings are susceptible to damage and collapse during strong earth movements. Typically, the columns in such buildings have inadequate and wide-spaced transverse reinforcement and lack the necessary seismic reinforcement details. The evaluation of the earthquake damage of these buildings requires the evaluation of the observed behaviour in terms of strength and deformation capacity. The lateral deformations in a column consist of three parts: flexural, reinforcement slip and shear deformations. For each of these deformations, monotonic and hysteretic responses were modeled separately by the SAP2000 program. First the column was modeled with plastic hinge model for flexural, reinforcement slip and shear deformations in monotonic model; then in the hysteretic model, the results obtained from the monotonic model was modeled using the hysteretic pivot model in SAP2000. The results obtained from the SAP2000 models have been shown to perform well in predicting the reaction of the reinforced concrete columns to lateral loads compared to the experimental data. According to these results, it has been shown that monotonic and hysteretic column lateral deformation models solved by the more complex analysis methods are simplified by the SAP2000.

İlgili Yazar, email: silaavgin@ksu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde çoğu ülkede güncel sismik kodlara göre tasarlanmayan çok sayıda betonarme bina bulunmaktadır. Bu yapılar o tarihteki kod ve standartlara göre inşa edilmiş yapılardır. Bugün çoğu ülkede bu yapılar, gereken detaylar olmadan tasarlanmaya ve inşa edilmeye devam etmektedir. Deprem sonrası yapılan araştırmalar,

betonarme bina çökmelerindeki temel nedenin zayıf bir şekilde tasarlanmış betonarme kolonlar olduğunu göstermektedir. Tipik olarak, bu tip yapılardaki kolonlar yetersiz ve geniş aralıklı enine donatıya sahip olup gerekli sismik donatı detaylarından yoksundur [1]. Yanal yüklere maruz kalan betonarme kolonların toplam yanal deformasyonu; Şekil 1’de gösterilen kolon ucundaki donatı sıyrılması, kesme ve eğilmeden kaynaklanan deformasyonların toplamıdır. [2]



Şekil 1. Yanal yüklere maruz kalan betonarme kolonların bileşenleri [3]

Donatı çubuğunun sıyrılma davranışını ölçmek için yapılan ilk çalışmalar 1970’li yıllarda ortaya çıkmış ve bugün hala aktif bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Otani ve Sozen [4] modellerinde uygulanan moment ile çelik gerilmesi arasında doğrusal bir ilişki olduğunu kabul etmiştir. Eligehausen ve ark. [5] California Üniversitesi’nde betona gömülü donatı çubuğunun aderans gerilmesini belirlemek amacıyla deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Bu modelde aderans gerilmesi bölgesel gerilmenin aksine çubuk üzerindeki her noktada sıyrılma ile ilgilidir. Bölgesel sıyrılmanın aderans gerilmesi ile ilgili olduğu bir model kullandığından, sıyrılma modeli karmaşıktır. Bu yüzden bu problem tek aşamada çözülmemez. Doğrusal olmayan denklem sistemlerini çözmek için bir tekrarlamalı şeması uygulanabilir. Morita ve Kaku [6] farklı yaklaşım kullanarak ortalama aderans gerilmesini çelik gerilmesi ile orantılı olarak kabul etmiştir. Alsawat ve Saatçioğlu [7] iki kademeli aderans gerilmesi önermişlerdir. Çubuk akmadan önce, sabit elastik aderans gerilmesi, çubuk plastik deformasyonla karşılaştıkça ayrı bir sürtünme aderans gerilmesi kullanmışlardır.

Mevcut betonarme kolonların kesme mukavemetinin değerlendirilmesi için, California Department of Transportation (Caltrans) [8] enine donatı katkısının (V_s) dahil edildiği kesme dayanımını (V_n) hesaplamıştır. Beton katkısı V_c , uygulanan eksenel yük, yer değiştirme sünekliği ve sargılamanın bir fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. FEMA-273, *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* [9] kolon kesme dayanımı denklemleri, eksenel yük ve ters çevrimli yanal yer değiştirmelere maruz kalan mevcut kolonlar için mevcut deneysel verilerin gözden geçirilmesine dayanmaktadır. FEMA-273 dökümanlarında, eski kolonlardaki süneklik talepleri basit bir şekilde dikkate alınmaktadır. Sezen [1] kesmede yetersiz olan 4 betonarme kolonu test etmiş ve kuvvet-kesme yer değiştirmesi için parçalı doğrusal bir model önermiştir. Vecchio ve Collins [10] betonarme elemanlarda kesme davranışını iyileştirmek için modifiye basınç alanı teorisini (MCFT) geliştirmiştir. Aslında bu teori levha elemanlar için geliştirilmiş olup daha sonra kiriş ve kolon gibi betonarme elemanlarda ilişkilendirilmiştir.

Sismik ve eksenel yüklere maruz kalan zayıf donatılı betonarme kolonların yanal deformasyon davranışının tahmin edilmesi için, yapısal elemanların mukavemet, rijitlik ve enerji yayılımı özelliklerini içeren uygun histeretik modeller gerekmektedir. Sismik yükleme altındaki betonarme elemanların yanal kuvvet-eğilme deformasyon karakteristiklerini simüle eden, eğilme için çeşitli histeretik modeller üretilmiştir. Clough [11], rijitlik bozulmasını içeren basit bir elasto-plastik histeretik model önermiştir. İki parçalı doğrudan oluşan eğri, birincil zarf görevi görür. Rijitliğin bozulmasını simüle etmek için, yeniden yükleme bölümü bir önceki maksimum tepki noktasını hedeflemektedir. Yeniden yükleme bölümünün eğimi, maksimum tepki arttıkça azalmaktadır. Fukuda [12] rijitliğin çevrimde azalan parçalı doğrudan oluşan eğri modeli önermiştir. Birincil zarf üç parçalı doğrudan oluşan eğridir ve yük boşaltma noktasının ötesindeki tepki iki parçalı doğrudan oluşan bir ilişki izler. İlk inelastik döngü sırasında enerjinin yayılması, sonraki döngülerden daha büyüktür. Imbeault ve Nielsen [13] tarafından her çevrimde rijitliği azalan iki parçadan oluşan histeretik model önerilmiştir. Eğrinin akma sonrası kısmının rijitliğinin, başlangıç yükleme rijitliğinin yüzde üçüne eşit olduğu tanımlanmıştır. Takeda ve ark. [14] sismik harekete maruz kalan betonarme yapıların önemli bir özelliği olan artan hasara bağlı olarak rijitliğin azalmasını göz önünde bulundurarak rijitlik modelinde düzeltmeler önermişlerdir. Birincil eğri, donatı çubuğunun akmasında ve betonun çatlama eğimindeki değişiklik ile üç düzgün segmentle tanımlanmaktadır.

Betonarme elemanların sismik yükleme altındaki yanal kuvvet-sıyrılma deformasyon özelliklerini öngören donatı sıyrılması için çeşitli histeretik modeller mevcuttur. Otani [15], histeretik sıyrılma modeli, iki parçalı doğrudan oluşan birincil zarf kullanmıştır. Otani modeli, histeresiz döngülerinin sıkışmasını içermez. Soleimani [16], donatı sıyrılması deformasyonlarının dönme yayları ile modellendiği histeretik bir model sunmuştur. Moment-donatı sıyrılması dönme ilişkisinin elastik rijitliği, eğilme rijitliğinin üçte biri olarak tanımlanmıştır. Banon, Biggs ve Irvine [17], donatı sıyrılması ve kesmenin birlikte etkisini simüle etmek için histeretik bir model önermişlerdir. Birincil eğri iki parçalı doğrudan oluşmaktadır.

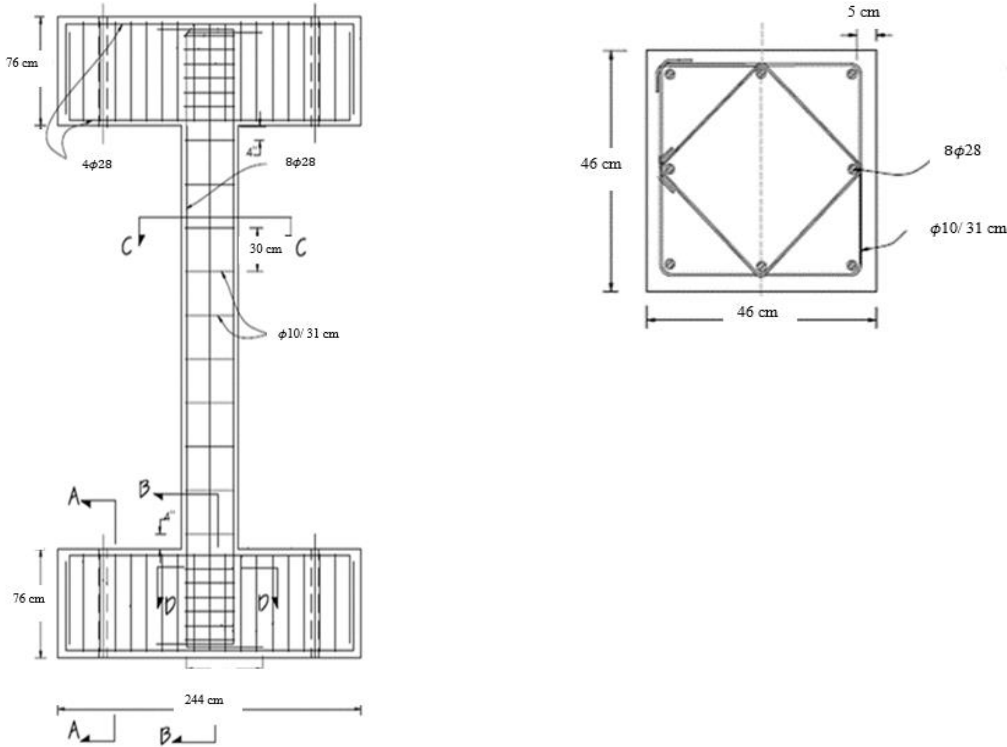
Sismik yükleme altındaki yanal kuvvet-kesme deformasyon özelliklerini öngören çeşitli kesme histerik model çalışılmıştır. Takayanagi ve Schnobrich [18], kesme kuvveti-kesme deformasyon ilişkilerinde daha yaygın olan histeresiz döngülerde sıkışması ve rijitliğin azalması gibi önemli histeretik özellikleri birleştirmenin dahil edildiği bir model önermiştir. Kesme etkisi, moment-dönme ilişkisine dahil edilmiştir.

Bu çalışmada, hafif betonarme kolonların SAP2000 [19] ile toplam yanal deformasyonunu tahmin etmek için monotonik ve histeretik yükler altında eğilme, donatı sıyrılma ve kesme deformasyonları modellenecektir. Bu çalışmada, proje mühendisleri için kullanım kolaylığından dolayı genel amaçlı yapısal analiz programı SAP2000 tercih edilmiştir. İlk olarak, her deformasyon tipi ayrı modellenecek ve zayıf betonarme kolonların yanal deformasyonu her deformasyon tipi için tahmin edilecektir. Daha sonra bu üç model, zayıf betonarme kolonun yanal deformasyonunu tahmin edebilen bir genel model oluşturmak için birleştirilecektir. Elde edilen monotonik tepkiler histeretik tepkilerin modellenmesinde kullanılacaktır.

2. Model Doğrulaması için Seçilen Deneysel Çalışma

2.1. Numune Tanımları ve Malzeme Özellikleri

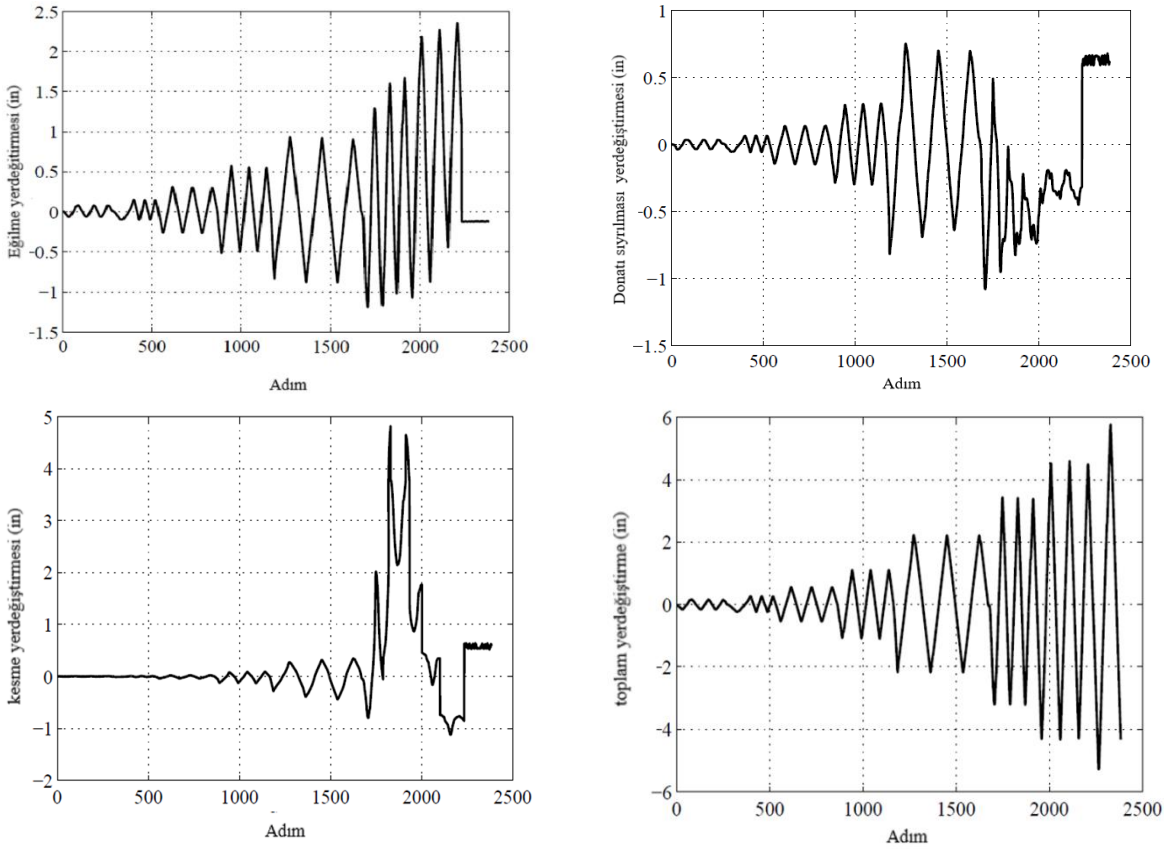
Modellemede kullanılacak deneysel veriler Sezen [1] tarafından yapılan deneysel çalışmalardan elde edilmiştir. Test numunesi yüksekliği ve tipik kolon kesiti Şekil 2’de gösterilmektedir. Kolon 46 cm*46 cm kesitlerde ve kolon yüksekliği 295 cm boyutlarındadır. 8 adet $\phi 28$ boyuna donatı kullanılmıştır. Boyuna donatıların ortalama akma dayanımı ve nihai dayanımı sırasıyla 434 MPa ve 645 MPa’dır. $\phi 10$ enine donatıların ölçülen akma dayanımı ve nihai dayanımı sırasıyla 476 MPa ve 724 MPa’dır. Enine donatı 31 cm eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Kolon ve kirişler için boyuna donatı üzerinden 5 cm pas payı bulunmaktadır. Kolon boyuna çubukları kirişlerin üst ve alt kısımlarında 90° eğilmiştir. Betonun 28 günlük belirlenen basınç dayanımı 21 MPa’dır. [1]



Şekil 2. Test numunesi yüksekliği, tipik kolon kesiti ve test kurulumu [1]

2.2. Yükleme Davranışları

Test kolonu $0.15f'_cA_g$ (f'_c = Ölçülen beton basınç gerilmesi, A_g : brüt kesit alanı) değerine eşit olan 667 kN sabit bir basınç eksenel yüke ve Şekil 3'te gösterildiği gibi eğilme, donatı sıyrılması, kesme ve toplam standart yanal yer değiştirme yüklemesine sahiptir. [20]

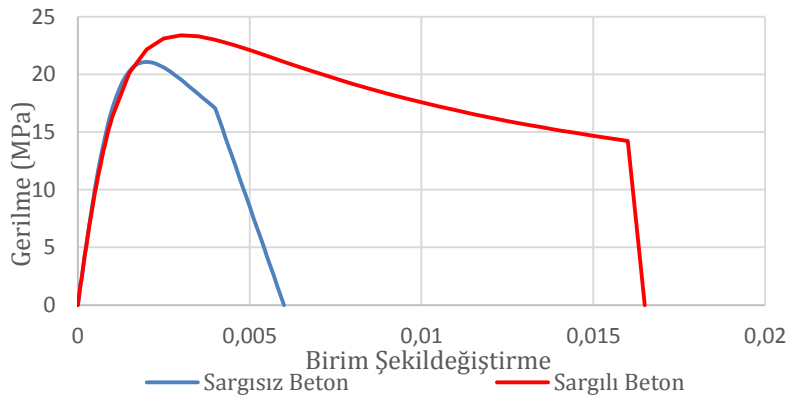


Şekil 3. Yanal yerdeğiştirme yüklemeleri [20]

3. Malzeme

3.1. Beton Modelleri

Mander ve ark. 1988 yılında hem spiral hem de dikdörtgen enine donatılı kesitlere uygulanabilen bir model önermişlerdir. Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, enine donatı ile sarılması durumunda, sarılmamış duruma göre önemli farklılıklar gösterdiğinden dolayı, beton sargılı ve sargısız olmak üzere 2 farklı kategoride incelenecektir. Mander ve diğ. (1988) tarafından sargılı beton için geliştirilen gerilme-birim şekil değiştirme modelinde, sargı etkisi ihmal edilirse, model sargısız model içinde kullanılmaktadır. [21] Bu çalışmada Şekil 4'te gösterildiği gibi sargılı ve sargısız beton için Mander Beton Modeli kullanılmıştır.

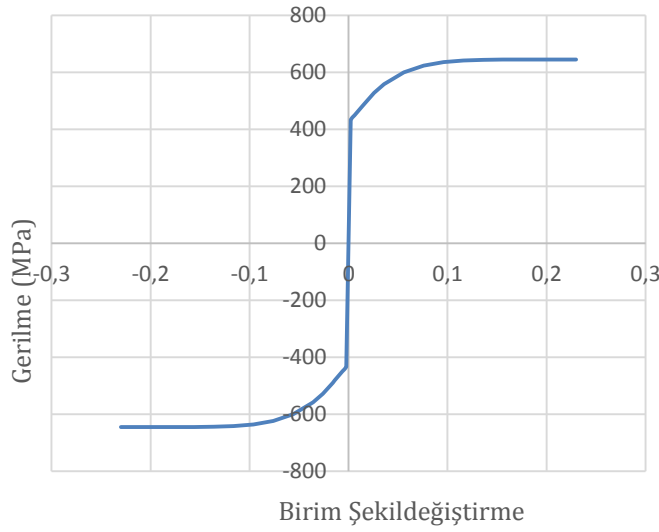


Şekil 4. Mander Beton Modeli

3.2. Çelik Modeli

Donatı çeliğinin davranışı, elastik davranış, akma platosu ve doğrusal olmayan birim şekildeğiştirme-pekleşme bölgesi olmak üzere üç bölge tanımlanarak modellenmiştir (Şekil 5). Sezen tarafından test edilen kolonlar için, boyuna çelik gerilme-birim şekil değiştirme modelini tanımlamak için aşağıdaki parametreler kullanılmıştır:

$$\begin{aligned} f_y &= 63 \text{ ksi (434 MPa)} & \varepsilon_{sh} &= 0.016 \\ f_u &= 93.5 \text{ ksi (645 MPa)} & \varepsilon_u &= 0.23 \\ E_s &= 29000 \text{ ksi} \quad (2 \cdot 10^5 \text{ MPa}) & a &= 0.02 \end{aligned}$$



Şekil 5. Çelik modeli

4. Deformasyon Bileşenleri

4.1. Monotonik Davranışın Deformasyon Modelleri

4.1.1. Eğilme Deformasyonu

Bir betonarme kesitin eğilme tepkisi, moment-eğrilik analizi ile hesaplanabilir. Moment-eğrilik analizi, her malzemenin doğrusal olmayan davranışı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, betonarme kolonların moment-eğrilik ilişkisini elde edebilmek için SAP2000 programının Section Designer modülü kullanılmıştır. Eğilme deformasyonlarından kaynaklanan kolonun yanal yerdeğiştirmesi, eğrilik dağılımının kolonun yüksekliği boyunca integrali alınarak hesaplanabilir:

$$\Delta_f = \int_0^L \phi(x) x dx \quad (1)$$

burada $\phi(x)$ = eğrilik dağılımı, x kolon eksenini boyunca ölçülür ve L = kolon yüksekliğidir. Denklem 1, boyuna çelikte başlangıç akmasına kadar yanal yükler için eğilme deformasyonlarını hesaplamak için kullanılmıştır. Akma meydana geldikten sonra, eğilme deformasyonları bir plastik mafsallı modelinden hesaplanır:

$$\Delta_f = \Delta_{f,y} + (\phi - \phi_y) L_p \left(\alpha - \frac{L_p}{2} \right) \quad (2)$$

burada $\Delta_{f,y}$ = Denklem 1'de integrasyon methodu kullanılarak hesaplanan akma anındaki eğilme deformasyonu,

ϕ = kolon ucundaki eğrilik ve ϕ_y = akma anındaki eğrilik, α = kesme açıklığıdır ve her iki ucu ankastre bir kolon için $L/2$ 'ye eşittir [22]. Plastik mafsallık uzunluğu L_p , Moehle'nin önerileri doğrultusunda toplam kesit derinliğinin yarısı olarak alınmıştır. [23]

4.1.2. Donatı Sıyrılması Deformasyonu

Betonarme bir kolon, eğilme momentine maruz kaldığında gerilme, çekme donatı çubuklarının beton içerisindeki uzunluk boyunca birikir. Bu, çubukların kolon sabit uçlarında ankraj betonuna göre uzamasına veya kaymasına neden olur. Bu uzama genellikle donatı sıyrılması olarak bilinir ve Şekil 1' de gösterildiği gibi kolonun rijit-cisim dönmesine yol açar. [3]

Bu çalışmadaki model için, aderans gerilmesi elastik çelik davranışı için bir değere ve akma gerilmesinden daha büyük çelik gerilmeler için bir değer olan iki-kademeli fonksiyon olarak tahmin edilmiştir. Elastik aralıktaki aderans gerilmesinin değeri, $u_b = \sqrt{f'_c}$, elastik olmayan aralık için $u'_b = 0.5\sqrt{f'_c}$ olarak alınmıştır [22]. Donatı çubuğunun yüklü ucundaki sıyrılma, iki-kademeli şekildeğiştirme dağılımının, geliştirme uzunluğu boyunca integrali alınarak donatı sıyrılması hesaplandığında;

$$sıyrılma = \frac{\varepsilon_s l_d}{2} \quad \varepsilon_s \leq \varepsilon_y \quad (3)$$

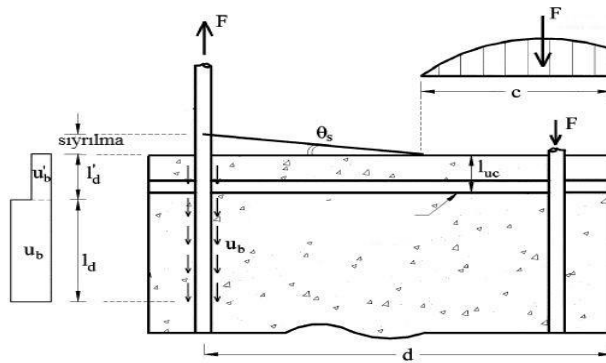
$$sıyrılma = \frac{\varepsilon_y l_d}{2} + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_y) l'_d}{2} \quad \varepsilon_s > \varepsilon_y \quad (4)$$

burada $l_d = f_s d_b / 4u_b$ ve $l'_d = (f_s - f_y) d_b / 4u'_b$ sırasıyla çubuğun elastik ve elastik olmayan kısmı için gelişme uzunluklarıdır. f_s = çubuğun yüklü ucunda gerilme, f_y = çelik akma gerilmesi, d_b = boyuna donatı çapı, ε_s = çubuğun yüklü ucundaki şekildeğiştirme, ε_y = çelik akma şekildeğiştirmesidir. Donatı sıyrılmasından kaynaklanan dönme, Şekil 6'dan hesaplanabilir.

$$\theta_s = \frac{sıyrılma}{d - c} \quad (5)$$

burada d ve c = çekme çeliğinin ve nötr eksenin asal kompresyon lifinden merkeze olan mesafeleridir. Bir konsol kolonunun serbest ucundaki donatı sıyrılmasından kaynaklanan yanal yerdeğiştirme, sıyrılma dönmesi θ_s ve kolon uzunluğundan L hesaplanabilir: [24]

$$\Delta_s = \theta_s L \quad (6)$$



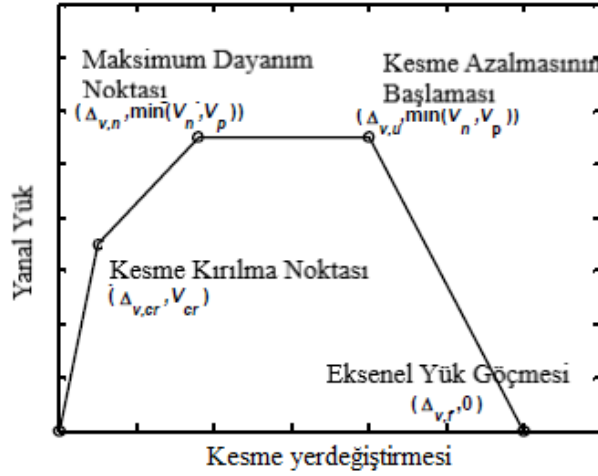
Şekil 6. Donatı sıyrılmasından kaynaklanan dönmesi [23]

4.1.3. Kesme Deformasyonu

Betonarme elemanlardaki kesme deformasyonları, tasarım ve araştırmalarda geleneksel olarak göz ardı edilmişlerdir. Aksine, daha sıkı sismik tasarım hükümlerine göre tasarlanmamış bir betonarme kolon için, kesme davranışı göçme kriteri olabilir. Bu tür kritik betonarme kolondaki kesme deformasyonları, toplam

deformasyona oranla büyük bir yüzdeye sahiptir ve bu nedenle deformasyon kapasitesinin doğru bir analizi gerektiğinde göz ardı edilemez [1].

Bu çalışmada kullanılan kesme modeli, Patwardhan [25] tarafından geliştirilen modeldir. Patwardhan, yanal kuvvet-kesme deformasyon tepkisindeki kilit noktaları tanımlayan denklemler kullanarak parametrik bir çalışma ile tanımlanmış ve bu noktalar modeli tanımlamıştır. (Şekil 7)



Şekil 7. Patwardhan tarafından önerilen yanal yük-kesme modeli

Bu çalışmada ilk nokta kesme kırılma noktasıdır. Patwardhan regresyon analizi sonuçları kullanarak, kesme kırılma dayanım denklemi önermiştir:

$$V_{cr} = \Delta_{v,cr} * \frac{GA_g}{L} \quad \Delta_{v,cr} = \left(\frac{P}{50000} + 0.0062 \right) \quad (7)$$

burada G = betonun kesme modülü, P = eksenel yük, A_g = brut kesit alanı ve L = kolon yüksekliğidir. İkinci nokta maximum gerilme noktasıdır ve kesme gerilmesine etki eden beton ve çelik kesme bileşenlerinin toplamı ile elde edilir:

$$V_n = k(V_c + V_s) \quad (8)$$

$$= \left(\frac{0.5\sqrt{f'_c}}{a/d} \sqrt{1 + \frac{P}{0.5\sqrt{f'_c}A_g}} \right) 0.8A_g + \left(\frac{A_{sp}f_{yw}d_c}{s} \right)$$

burada V_s = kesmede enine donatı katkısı, V_c = kesmede beton katkısı, f'_c = beton basınç dayanımı, a = kesme açıklığı, d = etkili derinliği, A_{sp} = yük yönünde enine donatının alanı, f_{yw} = enine donatının akma gerilmesi ve s = enine donatılar arasındaki farktır.

Gerin ve Adebar kesme dayanım azalmasını başladığı bir nokta tanımlar [26]. Ancak, onların modelleri, akma ve kesme şekildeğiştirmesi sünekliğinde teorik bir kesme yerdeğiştirmesine dayanmaktadır. Nihai kesme şekildeğiştirmesi, γ_u ve $\Delta_{v,u}$ Denklem 9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\gamma_u = \left(4 - 12 \frac{v_n}{f'_c} \right) \gamma_n \quad \Delta_{v,u} = \gamma_u L \quad (9)$$

burada; v_n = tepe mukavemetindeki kesme gerilmesidir (V_{peak}/bd).

Patwardhan modelindeki kesme dayanım azalması başlangıcından sonra, kesme dayanımı, eksenel yük göçmesi noktasına artan kesme deformasyonu ile lineer olarak azalır. Eksenel yük göçmesinde yanal kuvvetin sıfır olduğu varsayılır. Eksenel yük göçmesindeki kesme deplasmanı şu şekilde hesaplanır :

$$\Delta_{v,f} = \Delta_{ALF} - \Delta_{f,f} - \Delta_{s,f} \geq \Delta_{v,u} \quad (10)$$

burada Δ_{ALF} = eksenel yük göçmesindeki toplam yerdeğiştirme, $\Delta_{f,f}$ ve $\Delta_{s,f}$ sırasıyla eksenel yük göçme noktasındaki, eğilme ve sıyrılma yerdeğiştirmeleridir. Eksenel yük göçmesindeki toplam sapma, Elwood ve Moehle [27] tarafından önerilen eksenel kapasite modelinden hesaplanır:

$$\Delta_{ALF} = \frac{4}{100} \left[\frac{1 + \tan^2 \theta}{\tan \theta + P \left(\frac{s}{A_{sp} f_{yw} d_c \tan \theta} \right)} \right] \quad (11)$$

burada θ = kesme kırılma açısı ve bu açının 65 derece olduğu kabul edilir.

4.1.4. Toplam Deformasyon

Yanal yüklemeye maruz kalan bir kolonun tepkisini modellemek için, üç deformasyon bileşeninin hepsi, birbirine bağlı olduklarından dolayı toplam yanal deformasyonu tahmin etmek için birleştirilmelidir. Tepe öncesi tepkisi için, toplam deformasyonun tahmin edilmesi amacıyla eğilme, donatı sıyrılması ve kesme deformasyonların basitçe eklenebileceği varsayılmaktadır. Bu basit kombinasyon, kolonun maksimum gücüne ulaşılan kadar devam eder. Tepe sonrası davranışlarda kolon; kesme, akma ve eğilme mukavemetinin karşılaştırılmasına dayanan beş kategoriden birinde sınıflandırılır ve her bir kategori için deformasyon bileşenleri belirlenen kurallara göre kombinasyon yapılır.

Kolonların sınıflandırılması, kesme dayanımının (V_n), akma dayanımının (V_y) ve kolonların eğilme mukavemetinin (V_p) karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Akma mukavemeti V_y , kolondaki çekme çubuklarının ilk akmasına karşılık gelen yanal yüküdür. Eğilme mukavemeti V_p , eğilme analizi sırasında hesaplanan tepe momentine karşılık gelen yanal yük olup kesme dayanımı V_n ise Sezen ve Moehle [2] tarafından önerilen bir denklemden hesaplanır.

➤ Kategori-1 ($V_n < V_y$)

Kolonun kesme mukavemeti, akma mukavemetinden daha azdır ve kolon eğilme davranışında elastik kalırken, kesmeden kaynaklı olarak geçer.

➤ Kategori-2 ($V_y \leq V_n \leq 0.95V_p$)

Kesme kuvveti, eğilme mukavemetinden daha azdır ve kolon kesmede zayıftır, ancak kesme göçmesinden önce ortaya çıkan elastik olmayan eğilme deformasyonu, tepe sonrası davranışı etkiler.

➤ Kategori-3 ($0.95V_p \leq V_n \leq 1.05V_p$)

Kolonun kesme ve eğilme dayanımları esas olarak özdeştir. Kesme ve eğilme göçmesinin eşzamanlı olarak gerçekleştiği varsayılır ve her iki mekanizma da tepe sonrası davranışa katkıda bulunur.

➤ Kategori-4 ($1.05V_p < V_n \leq 1.4V_p$)

Kesme mukavemeti eğilme mukavemetinden daha büyüktür ve kolon eğilme sırasında göçebilir, ancak büyük kesme deformasyonları tepe sonrası davranışı etkiler ve yer değiştirmeler arttıkça kesme göçmesi meydana gelebilir.

➤ Kategori-5 ($V_n > 1.4V_p$)

Kesme dayanımı eğilme dayanımından çok daha büyüktür ve kolon kesme davranışında elastik kalırken, eğilmeden kaynaklı olarak geçer.

Kategori-1 kolonları için, Denklem 10'da kullanılacak $\Delta_{f,f}$ ve $\Delta_{s,f}$ değerleri sıfır kabul edilir. Kategori-2 kolonları için, kesme mukavemeti eğilme mukavemetinden daha azdır ve bu değerler, kolonda kesme mukavemetine eşit yükte eğilme ve sıyrılma deformasyonları olarak alınır. Kategori 3, 4 ve 5 için, $\Delta_{f,f}$ ve $\Delta_{s,f}$ hesaplanan maksimum eğilme ve sıyrılma deformasyonlarıdır. [27]

4.2 Histeretik Davranışın Deformasyon Bileşenleri

4.2.1 Histeretik Eğilme Deformasyonu

Eğilme deformasyonları, betonarme elemanlarda en iyi anlaşılan ve en kolay modellenebilen deformasyonlardır. Bir betonarme elemanın eğilme-dominant tepkisi genellikle kararlı histeresiz döngüleri ile sonuçlanır ve büyük bir enerji emme kapasitesi ile arzu edilen bir sünek davranış gösterir. Yeniden yükleme sırasında rijitliğin

bozulması küçüktür ve bu da şişman histeresiz döngülerine neden olur. Ayrıca, histeresiz döngülerin deformasyon aralıkları dahilinde neredeyse herhangi bir bozulma olmaksızın monotonik yük kapasitesine ulaşmaktadır. [20]

4.2.2. Histeretik Donatı Sıyrılması Deformasyonu

Yanal yükler altındaki kolonlarda çevrimsel donatı sıyrılması deformasyonlarını doğru bir şekilde tahmin edecek bir hesaplama açısından verimli histeretik modelin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Donatı sıyrılması ve ilgili deformasyonlar birçok farklı yoldan kaynaklanmaktadır. Tepkinin özellikleri, donatı çubuğu niteliği ve uzunluğu üzerine dayanmaktadır. Betonarme elemanların histeretik halkaları genellikle yeniden yükleme sırasında eğimde belirgin bir değişiklik göstermektedir. [20]

4.2.3. Histeretik Kesme Deformasyonu

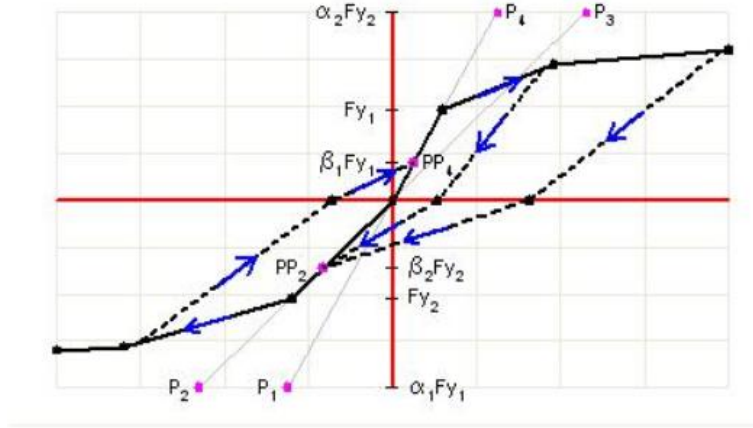
Kesme deformasyonları betonarme yapıların sismik tepki analizinde toplam deformasyonun yüzde onundan daha azını oluşturduğu için genel olarak gözardı edilmiştir. Ancak, kesme deformasyonları, kesmede kritik kolonlar için büyüktür ve sismik yükler altındaki kolonların histeretik davranışının doğru bir tahmini isteniyorsa, göz ardı edilemez.

Kesme kuvveti-kesme deformasyon ilişkisi, histerizis döngülerinin belirgin bir şekilde sıkışmasını göstermektedir. Betonarmenin karakteristik özelliği, nispeten yüksek elastik olmayan kesme deformasyon döngüleri seviyelerinde rijitlik bozulumu sergilemektir. Deformasyon döngülerinin sayısı arttıkça veya kesme deformasyonunun büyüklüğü arttıkça, betonarme eleman yeniden yükleme sırasında daha yumuşak hale gelir. Ayrıca, kesme kritik kolonlar tersinir yükleme altında artan mukavemet kaybı sergiler. Mukavemet azalma derecesi, beton sargılaması, kesme kuvveti, yükleme geçmişi ve eksenel yük seviyesi gibi birçok parametreye bağlıdır. Erken ve hızlı mukavemet azalması, büyük eksenel basınç varlığında yapısal tepki üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olabilir. [20]

4.2.4. Pivot Histeretik Model

Bu model, betonarme elemanlar için çok uygundur. Boşaltma ve geri yükleme işlemlerinin, hareket-deformasyon düzleminde pivot noktaları olarak adlandırılan belirli noktalara doğru yönelme eğilimine dayanmaktadır (Şekil 8). Bu modelin en yaygın kullanımı moment-dönme içindir. Bu model tam olarak Dowell, Seible ve Wilson'da (1998) açıklanmıştır. Pivot modeli için aşağıdaki ek parametreler belirtilmiştir:

- α_1 , Pozitif kuvvetten boşaltma için dönme noktasını sıfırlayan bir değerdir. Boşaltma pozitif elastik çizginin uzantısındaki bir noktada meydana gelir.
- α_2 , Negatif kuvvetten boşaltma için dönme noktasını sıfırlayan bir değerdir. Boşaltma negatif elastik çizginin uzantısındaki bir noktada meydana gelir.
- β_1 , pozitif kuvvete doğru sıfırdan ters yükleme için pivot noktası bulur. Yeniden yükleme, pozitif elastik çizgi üzerindeki bir noktaya doğru, pozitif akma kuvvetinin β_1 katı kuvvet değerinde, $0.0 < \beta_1 \leq 1.0$ olduğu bir noktaya doğru gerçekleşir.
- β_2 , negatif kuvvete doğru sıfırdan ters yükleme için pivot noktası bulur. Yeniden yükleme, pozitif elastik çizgi üzerindeki bir noktaya doğru, pozitif akma kuvvetinin β_2 katı kuvvet değerinde, $0.0 < \beta_2 \leq 1.0$ olduğu bir noktaya doğru gerçekleşir.
- η , plastik deformasyondan sonra elastik eğrilerin azalma miktarını belirleyen değerdir. Burada $0.0 < \eta < 1.0$. Bu parametreler ve davranış şekillerde gösterilmiştir. [28]



Şekil 8. SAP2000 multilinear plastik-pivot modeli [28]

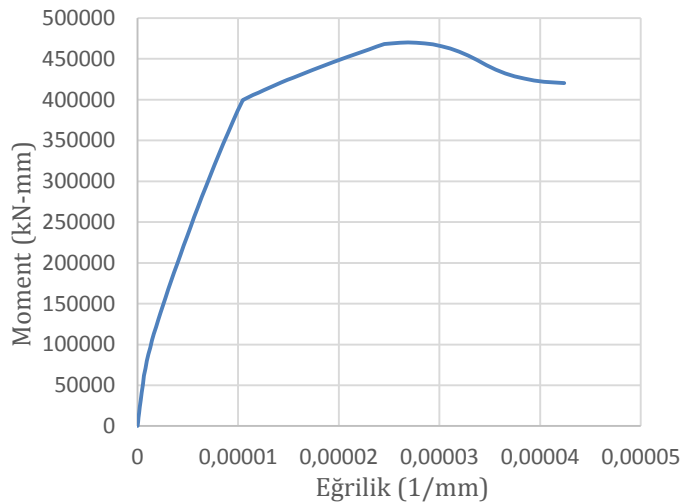
4.2.5. Histeretik Toplam Deformasyon

Yanal yükler altında hafif betonarme kolonların eğilme, donatı sıyrılması ve kesme davranışını ayrı simüle etmek için önerilen histeretik modeller verilmiştir. Her histeretik tepki bileşeni analitik olarak çalışılmış ve SAP2000 programı ile modellenmiştir. Ancak betonarme yapıların doğrusal olmayan dinamik analizi için, her üç deformasyon bileşenini bir araya getirecek ve bu bileşenler arasındaki etkileşimi de hesaba katacak bir kombine model oluşturulmuştur.

5. Analiz Sonuçları

5.1 Moment-Eğrilik Grafiği

Kolonların doğrusal olmayan malzeme modellerinin oluşturulmasında ve moment-eğrilik grafiğinin elde edilmesinde SAP2000 "Section Designer" ara yüzü kullanılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 9'da gösterilmektedir.

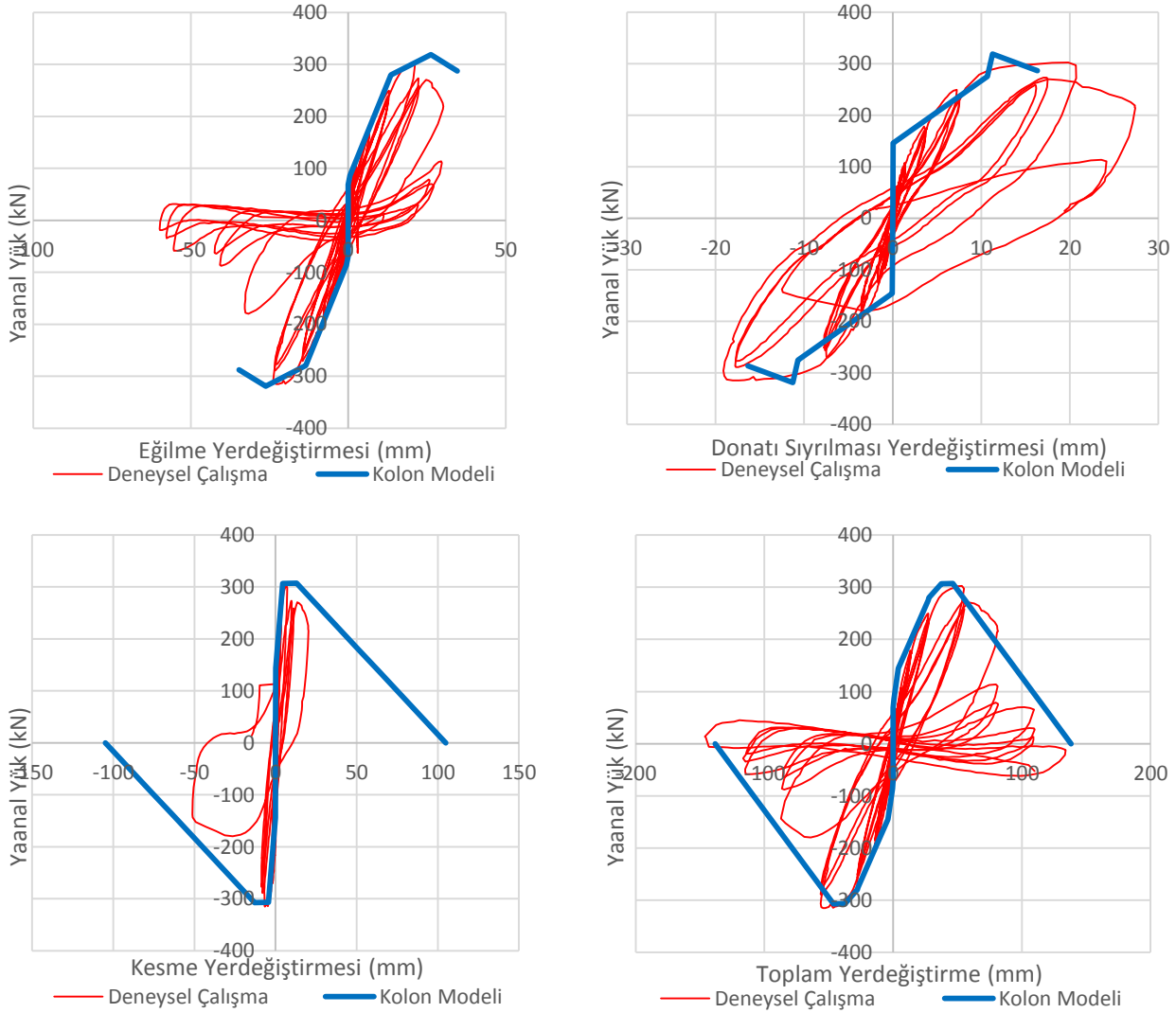


Şekil 8. SAP2000'den elde edilen moment-curvature eğrisi

5.2 Monotonik Deformasyon Sonuçları

Monotonik deformasyon SAP2000'de moment-eğrilik ve moment-dönme grafikleri kullanılarak plastik mafsallı modeliyle modellenmiştir. Deformasyon modellerinin davranışı için 4.1.4'te anlatılan kurallar neticesinde gereken hesaplamalar yapılarak kategori belirlenmiştir. Kategori seçimi için yapılan hesaplamalarda seçilen kolonun 4.1.4'te bahsedilen Kategori 3 ($0.95V_p \leq V_n \leq 1.05V_p$) için uygun olduğu görülmüştür. Eğilme deformasyonunda plastik şekil değiştirmelerin tüm kolon boyunca olduğu düşünülerek plastik mafsallar tüm kolon boyunun her %10'luk kısmına yerleştirilmiştir. Donatı sıyrılması deformasyonun plastik şekil değiştirmelerin sadece uç noktalarda olduğu düşünülerek plastik mafsallar kolonun alt ve üst noktalarına yerleştirilmiştir. Kesme deformasyonun plastik şekil değiştirmelerin sadece uç noktalarda olduğu düşünülerek plastik mafsallar kolonun alt ve üst noktalarına yerleştirilmiştir. Toplam deformasyonu modelleyebilmek için

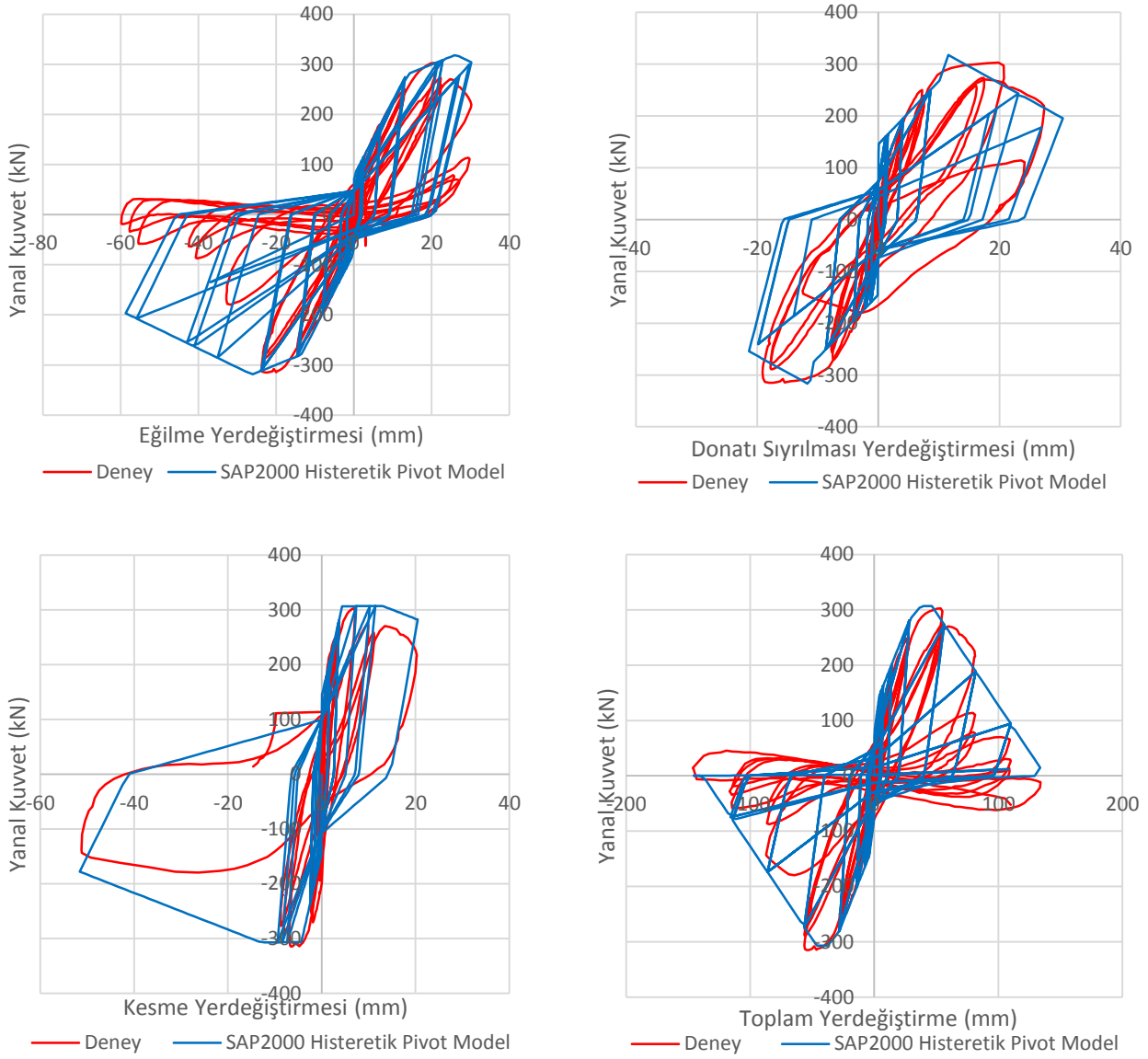
eğilme, donatı sıyrılması ve kesme deformasyonlarının moment-eğrilik ve moment-dönme değerleri gereken noktalara yerleştirilmiştir. Kolonların monotonik deformasyonlarını belirlemek amacıyla statik itme analizi uygulanmıştır. Kolonların monotonik eğilme, donatı sıyrılması, kesme ve toplam yerdeğiştirme sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Monotonik deformasyon sonuçları

5.3 Histeretik Deformasyon Sonuçları

Histeretik deformasyon elde edebilmek için SAP2000'de pivot histeretik model kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, her kolon için ATC-24'e [29] göre yükleme protokolü uygulanmış ve Şekil 3'te gösterildiği gibi kolonlar için yerdeğiştirme geçmişi olarak kullanılmıştır. Her deformasyon bileşeni için monotonik modelden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Analiz için link eleman kullanılıp 'multilinear plastic' seçilerek histeretik pivot modeli oluşturulmuştur. Kolonların histeretik deformasyonlarını belirlemek amacıyla dinamik analiz uygulanmıştır. Kolonların histeretik eğilme, donatı sıyrılması, kesme ve toplam yerdeğiştirme sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Histeretik deformasyon sonuçları

6. Sonuçlar ve Tartışma

Yanal yükler altında betonarme kolonların testleri, toplam deformasyonun eğilme, donatı sıyrılması ve kesme deformasyonlarından oluştuğunu göstermiştir. Bu çalışmada her deformasyon modelinin monotonik tepkisi için kuvvet-yerdeğiştirme modelleri kullanılmıştır. Kolonların mukavemet, rijitlik ve enerji yayma özelliklerini içeren her deformasyon bileşeni için histeretik modeller de geliştirilmiştir. Üç bileşenli modeller daha sonra betonarme betonun toplam yanal davranışını doğru şekilde simüle edebilen genel bir monotonik ve histeretik model oluşturmak için 4.1.4'te belirtilen kurallar çerçevesinde birleştirilmiştir.

Sezen [1] tarafından test edilen kolon SAP2000 programında modellenmiş ve monotonik ve histeretik analizler yapılmıştır. Monotonik eğilme analizi için moment-eğrilik kullanılarak plastik mafsallar oluşturulmuş ve kolon boyunun onda biri aralıkları ile yerleştirilmiştir. Monotonik donatı sıyrılması analizi için Sezen [1] tarafından geliştirilen modele göre plastik mafsallar oluşturulmuş ve kolonların uçlarına yerleştirilmiştir. Monotonik kesme analizi için Patwardhan [25] tarafından geliştirilen modele göre plastik mafsallar oluşturulmuş ve kolonların uçlarına yerleştirilmiştir. Betonarme bir kolonun toplam yanal deformasyonu, eğilme, donatı sıyrılması ve kesme deformasyonlarının toplamı olduğundan, toplam yanal deformasyonları tahmin etmek için kolonda aynı anda eğilme, donatı sıyrılması ve kesme modeli kullanılmıştır.

Eğilme, donatı sıyrılması, kesme ve toplam tepkiler için histeretik modeller, SAP2000 histeretik pivot modeli kullanılarak geliştirilmiştir. Kolonun karşılık gelen monotonik tepkilerinden eğilme, donatı sıyrılması, kesme ve toplam deformasyonun döngüsel kuvvet-yer değiştirme ilişkisi elde edilmiştir. Bu döngüsel kuvvet-yer

değiştirme ilişkileri, ilgili histeretik analiz için birincil omurga eğrisi olarak görev yapmıştır. Bir betonarme elemanın eğilme tepkisi, genellikle stabil histerezis döngüsü ile sonuçlanır ve büyük bir enerji emme kapasitesine sahip istenen bir sünek davranışı sergiler. Donatı sıyrılması deformasyonunun histeretik davranışı, genel olarak histerezis halkalarının sıkıştırılması ile karakterize edilir. Kesme kuvvetinin kesme deformasyon ilişkilerinde sıkıştırma ve histeretik halkaların kuvvet azaltması daha yaygındır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Basit ve genel amaçlı bir program olan SAP2000 programı ile karmaşık, zaman alıcı kesme, donatı sıyrılması ve toplam deformasyon modellerinin geliştirilebileceği gösterilmiştir.
- SAP2000 tarafından geliştirilen monotonik ve histeretik eğilme, donatı sıyrılması, kesme ve toplam deformasyon modelleri, kolon için deneysel monotonik ve döngüsel eğilme, donatı sıyrılması, kesme ve toplam yanal yerdeğiştirmeleri iyi bir şekilde tahmin etmektedir.
- Araştırma, düşük donatı kolonlarının sismik yük altındaki davranışlarının modellenmesine odaklanmış olsa da, eğilme, kesme ve donatı sıyrılması için uygun plastik mafsallar kullanılarak her türlü betonarme kolonun yatay yük altındaki yanal deplasmanları tahmin edilebilir.
- SAP2000'den gösterilen bu yöntem ile, mühendisler akademik programlara ihtiyaç duymadan kesme ve sıyrılma deformasyonlarını modelleyerek bina performans analizlerini basitçe yapabileceklerdir.

Kaynakça

- [1] Sezen, H., 2002. "Seismic Behavior and Modeling of Reinforced Concrete Building Columns," Ph.D. Dissertation. University of California, Berkeley, 2002. 324 pp.
- [2] Sezen, H. and Moehle, J. P., 2004. "Shear Strength Model for Lightly Reinforced Concrete Columns," Journal of Structural Engineering. ASCE, V. 130, No. 11, Nov. 2004. pp. 1692-1703.
- [3] Lodhi, M.S. and Sezen, H., 2012. "Estimation of Monotonic Behavior of Reinforced Concrete Columns Considering Shear-Flexure-Axial Load Interaction," Earthquake Engineering and Structural Dynamics J., Vol. 41, No. 15, pp. 2159-2175.
- [4] Otani, S. and Sozen, M. A., 1972. "Behavior of Multistory Reinforced Concrete Frames during Earthquakes," Structural Research Series No. 392. University of Illinois, Urbana, 1972. 551 pp.
- [5] Eligehausen, R., Popov, E. P., and Bertero, V. V., 1983. "Local Bond Stress-Slip Relationship of a Deformed Bar Under Generalized Excitations," Report No. UCB/EERC 83/23. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Oct. 1983. 169 pp
- [6] Morita, S. and Kaku, T., 1984. "Slippage of Reinforcement in Beam-Column Joint of Reinforced Concrete Frame," Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering. San Francisco, July 1984. pp. 477-484.
- [7] Alsawat, J. M. and Saatcioglu, M., 1992. "Reinforcement Anchorage Slip under Monotonic Loading," Journal of Structural Engineering. ASCE, V. 118, No. 9, Sept. 1992. pp. 2421-2438.
- [8] Caltrans (2002), Caltrans Seismic Design Criteria, Version 1.3, California Department of Transportation, Sacramento, CA.
- [9] FEMA 356, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, Nov. 2000
- [10] Vecchio, F. J. and Collins, M. P., 1986. "The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear," ACI Journal. V. 83, No. 2, Mar. 1986. pp. 219-231.
- [11] Clough, R. W., (1966). "Effect of Stiffness Degradation on Earthquake Ductility Requirements," Report 66 Structural and Materials Research, Structural Engineering Laboratory, University of California, Berkeley.

- [12] Fukuda Y., "Study on the Restoring Force Characteristics of Reinforced Concrete Buildings (in Japanese)." Proceedings, Kanto Branch Symposium, Architectural Institute of Japan, No.40 1969 pp 121-124
- [13] Imbeault FA, Nielsen NN. Effect of degrading stiffness on the response of multistory frames subjected to earthquakes. In: Proceedings, fifth world conference on earthquake engineering; 1973. p. 1756-65.
- [14] Takeda, T., Sozen, M. A., and Neilsen, N. N. 1970. "Reinforced concrete response to simulated earthquakes." *Journal of the Structural Division*. ASCE, V. 96, No. 12, Dec. 1970. pp. 2557-2573
- [15] Otani S. (1974) Inelastic analysis of R/C frame structures. ASCE J Struct Div 100(7): 1433–1449
- [16] Soleimani D., Popov EP., Bertero VV. (1979) Nonlinear beam model for R/C frame analysis. In: Proceedings of 7th conference on electronic computation, St. Louis
- [17] Banon, H., Biggs, J. M., and Irvine, H. M., 1981. "Seismic Damage in Reinforced Concrete Frames," *Journal of the Structural Division*. ASCE, V. 107, No. 9, Sep. 1981. pp. 1713-1729
- [18] Takayanagi, T. and Schnobrich, W. C., 1976. "Computed Behavior of Reinforced Concrete Coupled Shear Walls," Structural Research Series no. 434. Civil Engineering Studies, University of Illinois, Urbana, 1976
- [19] SAP2000. Integrated finite element analysis and design of structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.
- [20] Chowdary T. 2007. Hysteretic Modeling of Shear-Critical Reinforced Concrete Columns Master's Thesis The Ohio State University 217 pp.
- [21] Mander, J. B., Priestley, J. N., and Park, R., 1988. "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," *Journal of Structural Engineering*. ASCE, V. 114, No. 8, Aug. 1988. pp. 1804-1825.
- [22] Sezen, H., and Setzler, E. J. (2008). "Reinforcement slip in reinforced concrete columns." *ACI Struct. J.*, 105(3), 280–289.
- [23] Moehle, J. P., 1992. "Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes," *Earthquake Spectra*. EERI, V. 8, No. 3, Aug. 1992. pp. 403-428.
- [24] Setzler, E.J. Modeling the Behavior of Lightly Reinforced Concrete Columns Subjected to Lateral Loads. M.S. Thesis. The Ohio State University, Columbus, Ohio, 2005.
- [25] Patwardhan, C., 2005. "Strength and Deformation Modeling of Reinforced Concrete Columns," M.S. Thesis. The Ohio State University, Columbus, Ohio, 2005. 166 pp.
- [26] Gerin, M. and Adebar, P., 2004. "Accounting for Shear in Seismic Analysis of Concrete Structures," Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada, Aug. 2004. Paper No. 1747.
- [27] Elwood K.J., and Moehle J.P., "Evaluation of Existing Reinforced Concrete Columns," 13th World Conference on Earthquake Engineering, Aug, 2004, Paper No. 579
- [28] Pivot hysteretic Model.
http://docs.csiamerica.com/helpfiles/csibridge/Advanced_tab/Assign/Pivot_Hysteresis_Model.html
- [29] ATC-24 (1992) Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures. Applied Technology Council, California, A.B.D.

Modeling and Investigation of Wind Turbine Integrated System in Terms of Thermodynamic Perspective for Power, Heating, Cooling and Clean Water Production

Fatih YILMAZ¹ 

^{*1}Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 05.02.2020, Kabul / Accepted: 06.08.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Keywords

cooling,
heating,
fresh water,
energy,
exergy,
wind turbine

Abstract: In this work, a new wind turbine supported power, heating, cooling and fresh water generation plant is introduced, and thermodynamic performance evaluation is conducted. The examined system includes wind turbines, vapor compression cooling (VCC) system, which operates R744 refrigerants, and reverse osmosis (RO) desalination system. Also, the key objective of this paper is to meet the electricity need of the VCC's compressor and the RO's pumps, with the wind turbines and then to send the remaining electricity to the place of use. The overall thermodynamic analyses are executed with the Engineering Equation Solver (EES) computer program. The consequences of this paper indicate the total energy and exergy efficiency are figured as 0.66 and 0.61, respectively. In addition, fresh water production capacity of the suggested system is 60 kgs⁻¹.

Rüzgâr Türbini Entegre Sisteminin Güç, Isıtma, Soğutma ve Temiz Su Üretimi için Termodinamik Açidan Modellenmesi ve İncelenmesi

Anahtar Kelime:

Soğutma,
ısıtma,
temiz su,
enerji,
ekserji,
rüzgar türbini

Öz: Bu çalışmada, rüzgâr türbini destekli güç, ısıtma, soğutma ve tatlı su üretim tesisi kombine bir sistemi önerilmiş ve termodinamik performans değerlendirmesi yapılmıştır. Önerilen bu çalışma, rüzgâr türbini, R744 soğutkanlı buhar sıkıştırma soğutma sistemi (VCC) ve ters ozmos (RO) alt sistemlerinden oluşmaktadır. Ayrıca bu çalışmanın temel amacı, buhar sıkıştırma soğutma sisteminin kompresörü ve ters su üretim sisteminde ki pompaların elektriksel güç ihtiyaçları rüzgâr türbininden elde edilen güç ile karşılanmasıdır. Tüm sistemin termodinamik hesaplamalarında EES adlı program kullanılmıştır. Önerilen sistemin, genel enerji ve ekserji verimi sırasıyla 0.66 ve 0.61 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, önerilen temiz su üretim sistemi ile 60 kg/s temiz su üretimi gerçekleştirilmiştir.

*İlgili Yazar, email: fatihyilmaz@isparta.edu.tr

1.

Introduction

The global energy requirement in the world has been dramatically increase in recent years. To meet the increasing energy demand, it is very important to environmentally being, sustainable and use of the economical energy systems instead of fossil fuels. Fossil fuels are widely used in energy production systems and this causes many adverse environmental impacts[1]. It is evident that these fuels are not sustainable, and as a result of combustion, cause unresolved environmental problems such as acid rain and global warming. Therefore, it is inevitable that renewable energy integrated plants are more preferred to combat environmental problems.

Renewable energy resources are more attractive than conventional fuels for clean energy generation[2]. On the other hand, multigeneration systems can be defined to produce various useful outputs for example cooling, heating, power, fresh water and etc. with the same energy input. These integrated systems stand out for the aim of more efficient use of energy resources. Also, these systems have many advantages such as low cost, low energy, and exergy losses, high performance and low environmental emissions[3,4].

Wind energy, a renewable energy source, is an important resource for a sustainable future for reducing fossil-based fuel use. Also, this energy source can be defined as a continuous energy source, unlike solar energy. Integrated use of non-fossil energy sources, such as solar and wind energy, are also known to be important for

sustainable energy production. Therefore, scientists have done a number of studies on multigeneration systems subjects in recent years.

Luqman et al. [5] have investigated a thermodynamic assessment of an oxy-hydrogen combustor integrated energy production cycle. The total energetic and exergetic performance of their suggested plant are 50% and 34%, respectively. Sezer and Koc[6] have proposed a design and performance assessment of the solar, wind and osmotic power cycle for multipurpose. Their proposed system that produces hydrogen, oxygen, fresh water, and refrigeration along with electricity. The whole energy and exergy efficiency of their work are determined as 73.3% and 30.6%, respectively. Sorgulu and Dincer[7] have examined both solar and wind combined cycle for power, cooling, heating and hydrogen generation. They conducted a comprehensive thermodynamic investigation of the integrated plant and the hydrogen production rate is found as 0.035 kgs^{-1} . Devrim and Bilir[8] have studied the performance evaluation of wind, solar and fuel cell based combined plant. Their suggested system that including 3 kW, 3.4 kW and 1.2 kW wind turbine (WT), electrolyzer and photovoltaic panel. Their study results showed that the specified 5-hour electrolysis process could be carried out when using the photovoltaic panel area of 17.97 m^2 , except November. Sezer et al.[9] have studied a solar and wind energy combined plant, which include reheat Rankine cycle, absorption cooling and thermal storage. Their proposed system's performance is found as 61.3% and 47.8%, respectively, based on energetic and exergetic efficiencies. Ishaq and Dincer [10] have suggested wind energy supported plant for hydrogen and ammonia generation. Their modeled plant's performances are calculated as 40.5% and 42.3%, respectively, in terms of energetic and exergetic efficiencies. Also, in the literature, there are numerous papers that the combined multigeneration system based on different renewable energy sources [11–14].

In this work, a WT integrated plant is suggested for producing power, cooling, heating and desalinated water generation. In addition, the main aim of the paper is to meet the electrical energy needed by the RO unit and VCC system with wind turbines, which are renewable energy sources. In this regard, a detailed thermodynamic analysis is investigated for wind energy-based desalination unit and VCC system. Additionally, the energetic and exergetic analyses, and also irreversibility and locations of the overall cycle are studied. The impact of some important limitations on system performance are discussed and presented graphically. The key purposes of this paper are listed as below;

- to examine the clean water production rate from the seawater
- to meet the electrical power requirements in the subsystems with WT
- investigating the performance and irreversibility rate of the modeled cycle and sub-systems
- to study the cooling and heating loads with VCC and power production rate with WT.

2. System Definition and Analyses

As seen in Fig.1, the suggested combined cycle that including a WT for power generation, a VCC for heating and cooling loads and RO unit for desalinated water production. In this proposed study, it was designed with inspiration from the works of Luqman et al. [5]. The general aim of this study is to meet the energy requirements of VCC and reverse osmosis (RO) systems with WT.

The R744 refrigerant VCC is used to meet heating and cooling loads. This subsystem consists of a compressor, a gas cooler, a throttle valve and an evaporator. The gas cooler is cooled by water and the heated water at point 5 is used to heat the building, which also the gas cooler is working as a heat exchanger. While the cooling load takes place in the evaporator part, the heating load is made with hot water coming from the gas cooler. the R744 refrigerant is preferred in this subsystem, because of its thermodynamic and environmental properties. Also, the RO method is preferred to obtain desalinated water from seawater. It was inspired by some of the studies in the literature to design the RO unit[15,16]. In general, in this study, it is designed that the electrical need of the VCC compressor, as well as the electrical need of the RO's LPP and HPP pumps, is to meet with WT. At point 1, where is the compressor inlet, the R744 refrigerant is assumed as the saturated vapor.

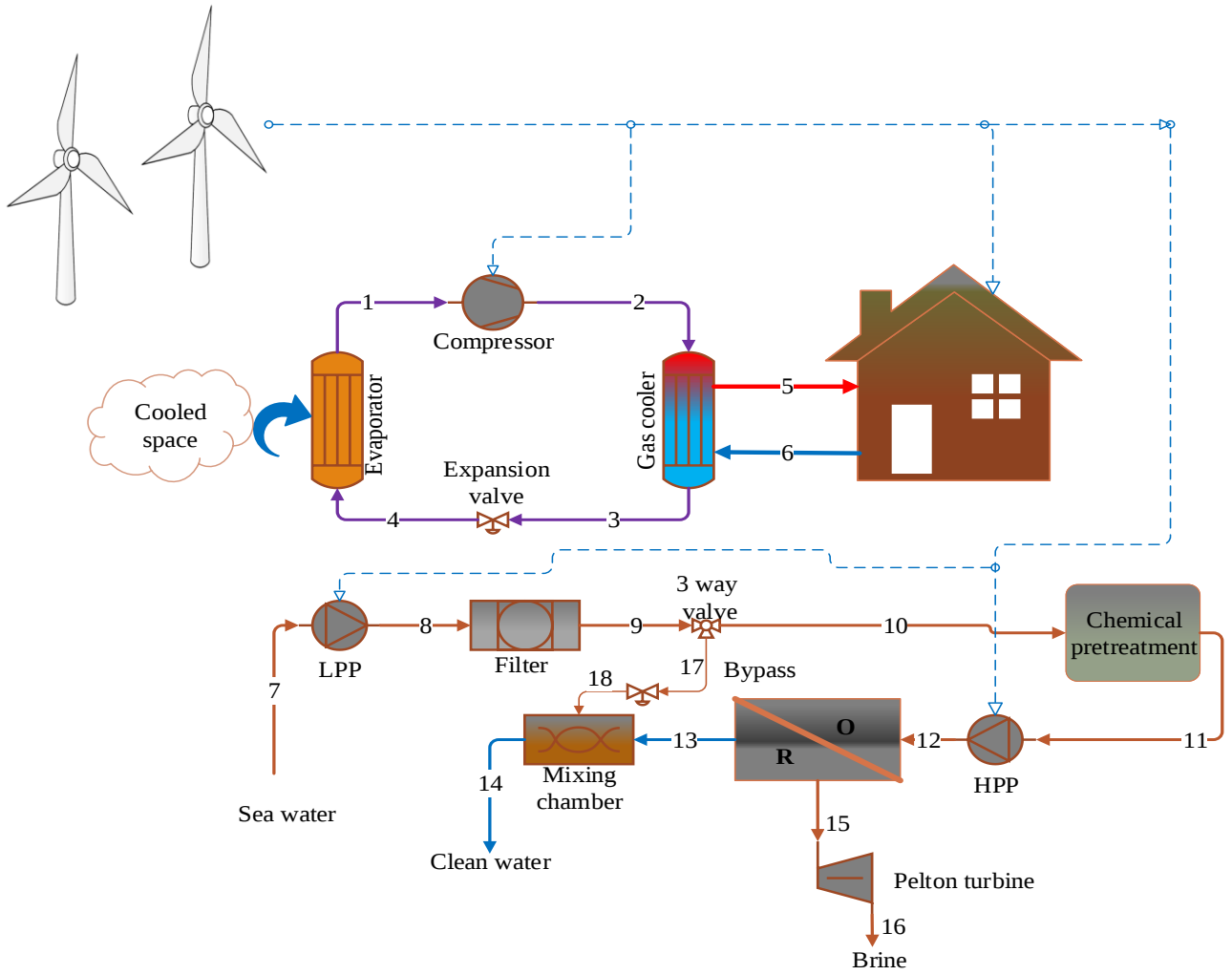


Fig.1 Schematic presentation of wind turbine combined system

The energy performance assessment of any thermal plant alone is not enough. Besides, exergy analysis that is related to thermodynamic second laws and offers many advantages. For more realistic results, energy and exergy analyzes should be carried out together. The thermodynamic analysis of a system is usually based on mass, energy, entropy and exergy balance relations[17–19].

The general thermodynamic equilibrium equations can be defined as;

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \sum \dot{m}_{in} \left(h_{in} + \frac{V_{in}^2}{2} + gZ_i \right) = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum \dot{m}_{out} \left(h_{out} + \frac{V_{out}^2}{2} + gZ_{out} \right) \quad (2)$$

$$\sum \dot{m}_{in} s_{in} + \dot{S}_{gen} + \sum_{in} \left(\frac{\dot{Q}_k}{T_k} \right) = \sum \dot{m}_{out} s_{out} + \sum_{out} \left(\frac{\dot{Q}_k}{T_k} \right) \quad (3)$$

$$\sum \dot{m}_{in} ex_{in} + \dot{E}x^{\dot{Q}} + \dot{E}x^{\dot{W}} = \sum \dot{m}_{out} ex_{out} + \dot{E}x^{\dot{Q}} + \dot{E}x^{\dot{W}} + \dot{E}x_{dest} \quad (4)$$

Here, $\dot{Q}, \dot{W}, h, s$ characterizes the heat transfer rate, work rate, specific enthalpy, specific entropy, respectively. Furthermore, the physical exergy, heat and work exergy rates can be written as;

$$ex_{ph} = h - h_o - T_o(s - s_o) \quad (5)$$

$$\dot{E}x_Q = \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) \dot{Q} \quad (6)$$

$$\dot{E}x_W = \dot{W} \quad (7)$$

WT power production rate can be computed as given below [20,21];

$$\dot{W}_{wt} = \frac{1}{2} \eta_{wt} \rho_{air} A_{wt} C_{p,wt} V^3 \quad (8)$$

Here, $\dot{W}_{wt}$ is the WT power, η_{wt} is the WT efficiency, ρ_{air} is the density of air, and V is the wind speed[2]. The WT energy input rate is written as below;

$$Input = \frac{1}{2} \rho_{air} A_{wt} C_{p,wt} V^3 \quad (9)$$

Also, the consumed electrical power by the VCC's compressor and RO's LPP and HPP pumps can be calculated as below based on the thermodynamic first law.

$$\dot{W}_{compressor} = \dot{m}_1(h_2 - h_1) \quad (10)$$

$$\dot{W}_{LPP} = \dot{m}_7(h_8 - h_7) \quad (11)$$

$$\dot{W}_{HPP} = \dot{m}_{11}(h_{12} - h_{11}) \quad (12)$$

$$\dot{W}_{pelto_turbine} = \dot{m}_{15}(h_{15} - h_{16}) \quad (13)$$

The net power generation of the modeled system can be written as below;

$$\dot{W}_{net,overall} = \dot{W}_{wt} + \dot{W}_{pelto_turbine} - \dot{W}_{compressor} - \dot{W}_{LPP} - \dot{W}_{HPP} \quad (14)$$

$$\dot{Q}_{heating} = \dot{m}_2(h_2 - h_3) = \dot{m}_5(h_5 - h_6) \quad (15)$$

$$\dot{Q}_{cooling} = \dot{m}_1(h_1 - h_4) \quad (16)$$

The COP_{en} and COP_{ex} of the VCC system can be determined as;

$$COP_{en,heating} = \frac{\dot{Q}_{heating}}{\dot{W}_{compressor}}, COP_{ex,heating} = \frac{\dot{m}_2(ex_2 - ex_3)}{\dot{W}_{compressor}} \quad (17)$$

$$COP_{en,cooling} = \frac{\dot{Q}_{cooling}}{\dot{W}_{compressor}}, COP_{ex,cooling} = \frac{\dot{m}_1(ex_1 - ex_4)}{\dot{W}_{compressor}} \quad (18)$$

The general energy and exergy equilibrium equation of the overall cycle can be illustrated as;

$$\eta_{overall} = \frac{\dot{W}_{net,overall} + \dot{Q}_{cooling} + \dot{Q}_{heating} + \dot{m}_{14}h_{14}}{Input + \dot{m}_7h_7} \quad (19)$$

$$\psi_{overall} = \frac{\dot{W}_{net,overall} + \dot{Ex}_{heating} + \dot{Ex}_{cooling} + \dot{m}_{14}ex_{14}}{Input + \dot{m}_7ex_7} \quad (20)$$

3. Results and Discussion

In this part of the work, a comprehensive thermodynamic evaluation is conducted for WT combined with VCC and reverse osmosis cycle. The key aim of this paper is to meet the energy demands of the VCC compressor and RO's LPP and HPP pumps with WT, and also the power, cooling, heating and fresh water production. To determine of the thermodynamic calculation of this paper, some assumptions have been made as follows;

- The WT power coefficient is assumed as 60% [2].
- The heat loss and pressure drops are neglected
- The R744 refrigerant is assumed as saturated liquid at input of the VVC compressor at state 1
- The reference temperature is 20 °C and reference pressure is 101.325 kPa.
- The sea water inlet temperature at point 7 assumed as 30 °C.
- The average wind speed is 5.2 m/s.

The thermodynamic performance results that is energetic and exergetic efficiency are specified in Table 1. As shown this Table, the energetic efficiency of the VCC for heating and cooling load are determined as 3.584 and 2.584, respectively. Also, the exergetic performance of the WT and RO unit are computed as 0.54 and 0.98, respectively. Lastly, the energetic and exergetic performance of the suggested study are 0.66 and 0.61, respectively.

Table 1. Thermodynamic results of the whole cycle and its subsystems

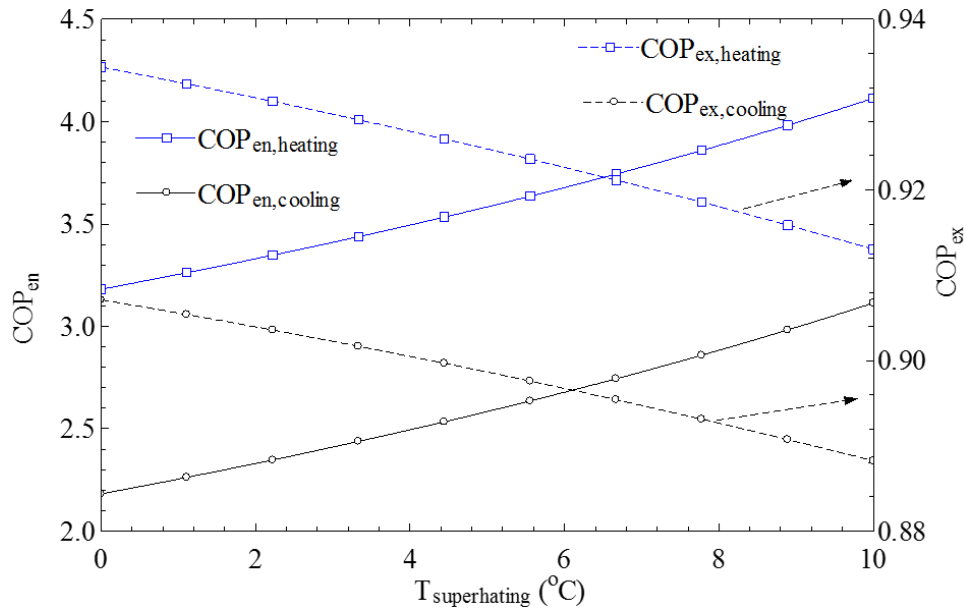
System and subsystems	Energy efficiency	Exergy efficiency
Wind turbine (WT)	0.60	0.54
VCC_for heating	3.584	0.92
VCC_for cooling	2.584	0.89
RO unit	0.63	0.98
Overall system	0.6621	0.61

The modelled plant is developed to beneficial productions such as cooling, heating, fresh water and power with use the sustainable method. The useful commodities of the suggested plant are computed and tabulated in Table 2. As shown in Table 2, in this study, approximately 60 kg / s of fresh water is obtained with about 100 kg/s sea water input. Also, the modeled system outputs can be ranking as, the net power production is 105.8 kW, the heating load 120.3 kW, and also the cooling load is 86.76 kW.

Table 2. The useful outputs of the proposed system

Net Power production (kW)	105.8
Heating capacity (kW)	120.3
Cooling capacity (kW)	86.76
Fresh water rate (kg/s)	60

Generally, the working fluid is superheated at the evaporator exit to prevent the liquid from reaching the compressor, in cooling systems. Therefore, the superheating term is very important parameter to design the cooling systems. Fig. 2 shows that the variation of the energetic performance coefficient (COP_{en}) and exergetic performance coefficient (COP_{ex}) of the VCC with changing the super heating temperature. In the VCC system, COP_{en} for heating and cooling loads increased about 1 with increment in the superheating temperature from 0 to 10 °C. With this increase in superheating temperature, it is clearly seen that COP_{en} increased from about 2.2 to about 3.3, for cooling application. The reason for this increase is that the energy consumed by the compressor decreases as a result of the superheating of the working fluid at the compressor inlet. On the other hand, COP_{ex} for heating and cooling loads decreased which is due to the fact that increase irreversibility.

**Fig.2.** Variation of the COP_{en} and COP_{ex} of the VCC with changing the superheating temperature.

The influence of the dead state temperature on the WT power production rate and on the air density is demonstrated in Fig.3. It can be understood that the WT power production and air density is decreased with the rise in the dead point temperature. As the dead state temperature increases, the air density decreases and then the electrical power production rate obtained from the planned cycle also decreases, according to equation 8. It is noted that the power production rate of WT is directly proportional to the air density.

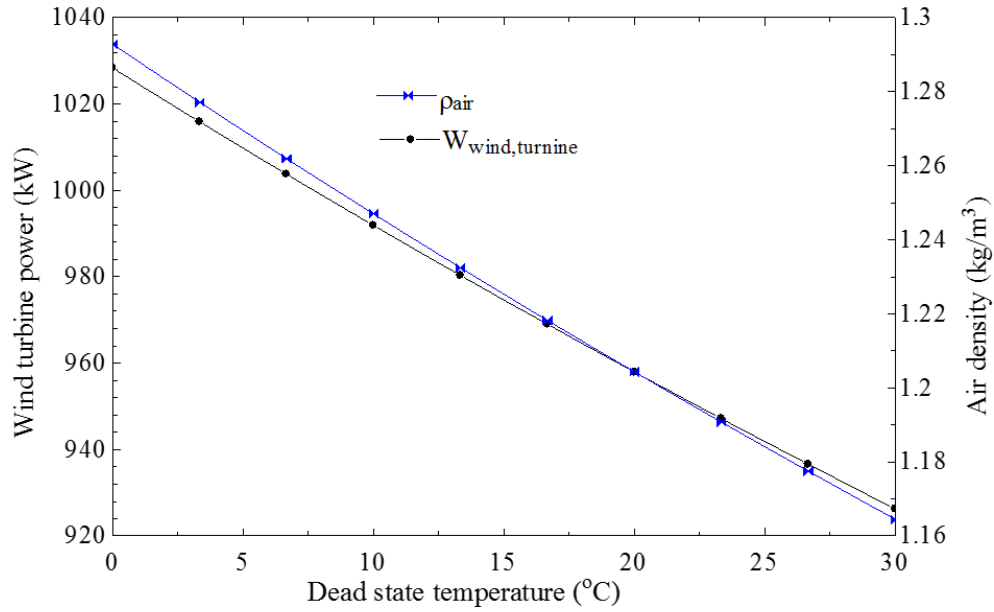


Fig.3. Variation of the density of air and power generation with changing the dead state temperature

Fig.4 expressions that the influence of changing reference temperature on the overall plant's performance. The modeled plant's energy and exergy efficiency both drop with rising in ambient temperature. The cause for this condition is that the air density declines as the ambient temperature rises and thus drop in WT power production rate. System performance decreases correctly with the decrease of power generation produced. Looking at Eq. 8 above, this is clearly seen that the air density is direct proportion with the WT power production. In addition, the results showing the impact of environmental temperature change on the recommended study performance is consistent with Ozlu and Dincer [2] work results.

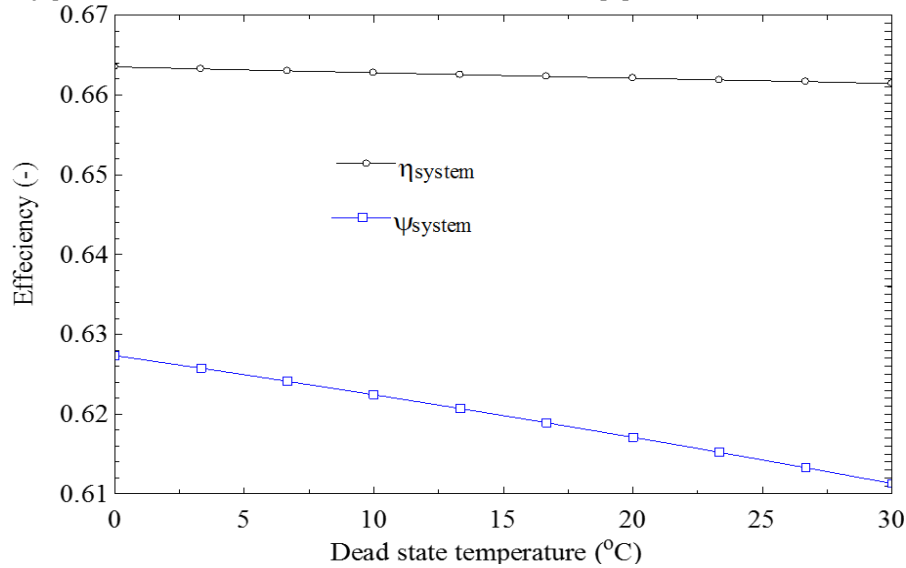


Fig.4. System efficiency versus with dead state temperature

The influence of the seawater temperature on energetic efficiency of the RO unit and planned system is seen in Fig.5. As clearly displayed in Fig.5, the rise in the seawater temperature has adverse effect of the RO unit and whole cycle efficiency. The increment in the seawater inlet temperature of approximately 20 °C reduces the energy performance of the RO system by about 6%.

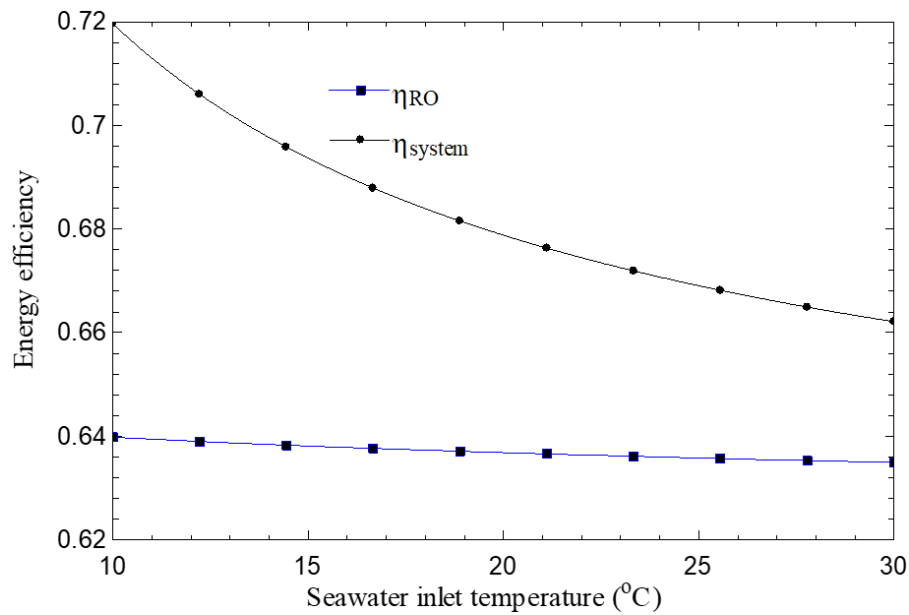


Fig.5. System and RO unit energy efficiency versus with seawater temperature

For this study, the wind speed is assumed that is to 5.2 m/s, at 50 m. As the elevation increases, the wind speed increases and therefore more power can be produced. So, Figs. 6 and 7 illustrate the impacts of the wind speed on the power generation rate, total irreversibility, and overall system performance. Increment in the wind speed from 5 to 12 m/s, the net power production rate and irreversibility increased, as shown in Fig.6. On the other hand, in this increase range of wind speed, the energy performance of the total system rises but exergy efficiency decreases, as in Fig.7. With this graph, the cause for the decrease in exergy efficiency can be stated as the increase in the wind speed and the total exergy destruction rate of the WT increase.

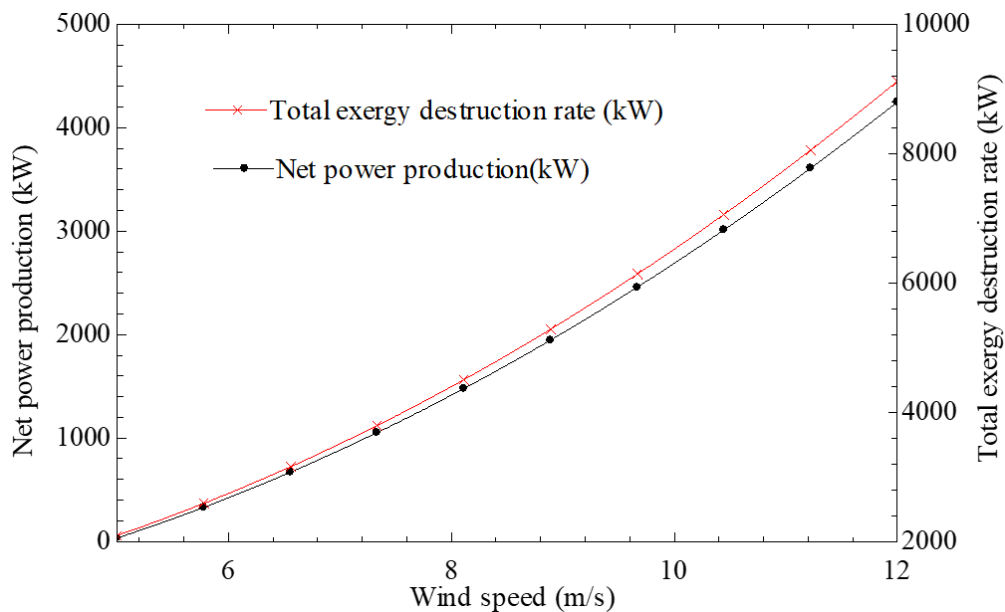


Fig.6. Influence of the wind speed on the net power production and total exergy destruction rate

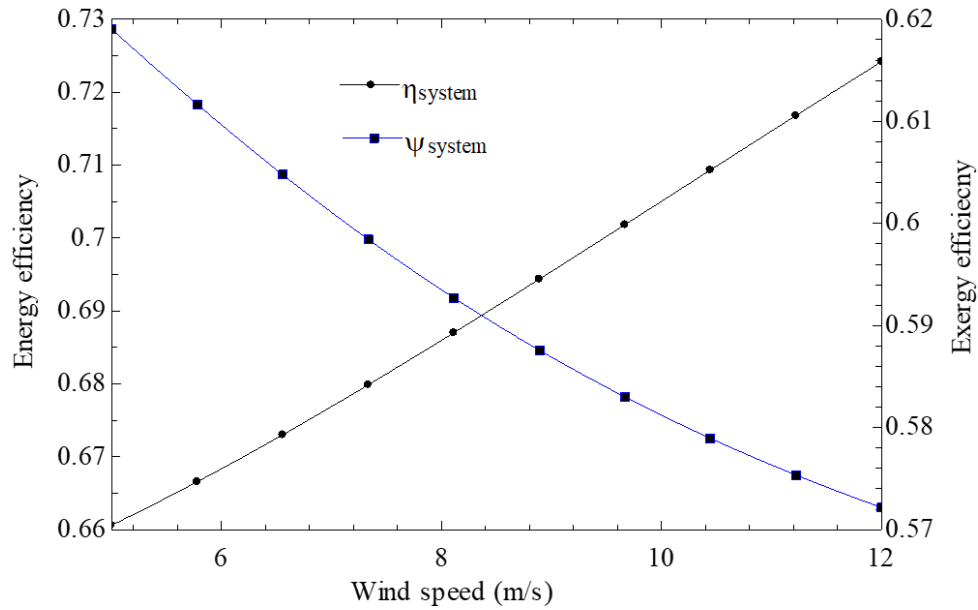


Fig.7. Influence of the wind speed on the total plant's performance

Finally, Fig.8 explains that the impact of the RO unit efficiency on the freshwater production and total energetic and exergic performances of the system as well. It can be concluded that if the use of highly efficient RO unit, it will be produced more fresh water rate. Besides, it is clearly seen that the energy and exergy efficiency of the proposed cycle increases with the rise in clean water production. The cause for this rise graph can be stated as the direct proportional relationship between RO unit performance and clean water production.

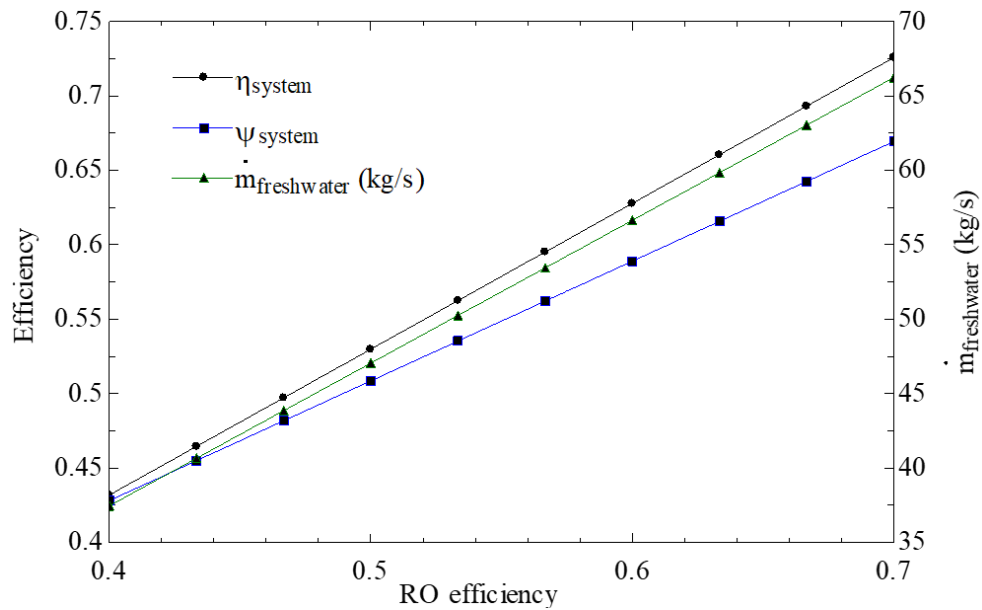


Fig.8. Variation of freshwater production rate and performance of the overall system with various RO unit efficiency.

4. Conclusion

The key purpose of this work is the examination of power, cooling, heating and fresh water generation, which is assisted WT. The generated power from the WT is designed to meet the requirements of the VCC system's compressor as well as the RO system's LPP and HPP pumps. The CO_2 refrigerant is used in the VCC as the working fluid because of its ODP and GWP values. Briefly, a system for heating, cooling, and electrical needs has been proposed with the support of the wind turbines, and comprehensive analysis has been made.

Results display that the desalinated water rate is calculated as 60 kg/s. Also, the heating and cooling capacities of the VCC sub-plant are 120.3 kW and 86.76 kW, respectively. The net power production rate of the suggested plant is 105.8 kW. Also, maximum irreversibility rate is shown in WT. The whole energy and exergy efficiency of the modelled cycle are to be 0.6621 and 0.61, respectively.

This paper shows that it is possible to the sustainable method for heating, cooling, clean water, and power generation, especially where wind speed is high at seaside. Considering that today most of the electricity request is fulfilled by natural gas or coal, thus sustainable and environmentally friendly technologies can be developed with different renewable energy supported systems.

Nomenclature

COP_{en}	energetic coefficient of performance
COP_{ex}	exergetic coefficient of performance
$\dot{E}x$	rate of exergy (kW)
E	energy (kW)
ex	specific exergy (kJ/kg)
h	specific enthalpy (kJ/kg)
HPP	high pressure pump
LPP	low pressure pump
P	pressure (kPa)
RO	reverse osmosis
s	specific entropy (kJ/kg-K)
T	temperature (°C)
VCC	vapor compression cycle
WT	wind turbine
$\dot{Q}$	heat transfer rate (kW)
$\dot{W}$	work rate (kW)
<i>Greek letters</i>	
η	energy/energetic efficiency
ψ	exergy/exergetic efficiency
<i>Subscripts</i>	
in	input
out	output
0	reference point

References

- [1] Sorgulu F, Dincer I. Design and analysis of a solar tower power plant integrated with thermal energy storage system for cogeneration. *Int J Energy Res* 2018;1–10. <https://doi.org/10.1002/er.4233>.
- [2] Ozlu S, Dincer I. Development and analysis of a solar and wind energy based multigeneration system. *Sol Energy* 2015;122:1279–95. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.10.035>.
- [3] Ozturk M, Dincer I. Thermodynamic analysis of a solar-based multi-generation system with hydrogen production. *Appl Therm Eng* 2013;51:1235–44. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.11.042>.
- [4] Dincer I, Zamfirescu C. Renewable-energy-based multigeneration systems. *Int J Energy Res* 2012;36:1403–15. <https://doi.org/10.1002/er.2882>.
- [5] Luqman M, Bicer Y, Al-Ansari T. Thermodynamic analysis of an oxy-hydrogen combustor supported solar and wind energy-based sustainable polygeneration system for remote locations. *Int J Hydrogen Energy* 2020;45:3470–83. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.191>.
- [6] Sezer N, Koç M. Development and performance assessment of a new integrated solar, wind, and osmotic power system for multigeneration, based on thermodynamic principles 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.03.051>.
- [7] Sorgulu F, Dincer I. A renewable source based hydrogen energy system for residential applications. *Int J Hydrogen Energy* 2018;43:5842–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.101>.
- [8] Devrim Y, Bilir L. Performance investigation of a wind turbine–solar photovoltaic panels–fuel cell hybrid system installed at İncek region – Ankara, Turkey. *Energy Convers Manag* 2016;126:759–66. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.062>.
- [9] Sezer N, Biçer Y, Koç M. Design and analysis of an integrated concentrated solar and wind energy system with storage. *Int J Energy Res* 2019;43:3263–83. <https://doi.org/10.1002/er.4456>.
- [10] Ishaq H, Dincer I. Evaluation of a wind energy based system for co-generation of hydrogen and methanol production. *Int J Hydrogen Energy* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.037>.

- [11] Bicer Y, Dincer I. Analysis and performance evaluation of a renewable energy based multigeneration system. *Energy* 2016;94:623–32. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.142>.
- [12] Khosravi A, Koury RNN, Machado L, Pabon JJG. Energy, exergy and economic analysis of a hybrid renewable energy with hydrogen storage system. *Energy* 2018;148:1087–102. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.02.008>.
- [13] Keshtkar MM, Khani AG. Exergoeconomic analysis and optimization of a hybrid system based on multi-objective generation system in Iran: a case study. *Renew Energy Focus* 2018;27:1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.07.008>.
- [14] Yilmaz F. Thermodynamic performance evaluation of a novel solar energy based multigeneration system. *Appl Therm Eng* 2018;143:429–37. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.07.125>.
- [15] Ishaq H, Dincer I, Naterer GF. New trigeneration system integrated with desalination and industrial waste heat recovery for hydrogen production. *Appl Therm Eng* 2018;142:767–78. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2018.07.019>.
- [16] Ghosh S, Dincer I. Development and analysis of a new integrated solar-wind-geothermal energy system. *Sol Energy* 2014;107:728–45. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.06.006>.
- [17] Dincer I, Rosen M. *EXERGY : Energy, Environment and Sustainable Development*. Elsevier Science; 2012.
- [18] Kotas TJ (Tadeusz J. The exergy method of thermal plant analysis. Butterworths; 1985.
- [19] Çengel YA, Boles MA. *Thermodynamics : an engineering approach*. 8th ed. Mc. McGraw-Hil;2015; n.d.
- [20] Ishaq H, Dincer I, Naterer GF. Performance investigation of an integrated wind energy system for co-generation of power and hydrogen. *Int J Hydrogen Energy* 2018;43:9153–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.03.139>.
- [21] Khalid F, Dincer I, Rosen MA. Analysis and assessment of an integrated hydrogen energy system. *Int J Hydrogen Energy* 2016;41:7960–7. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.12.221>.

An Examination of Data Dependence For Jungck-Type Iteration Method

Samet MALDAR 

*₁Aksaray Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, AKSARAY

(Alınış / Received: 07.02.2020, Kabul / Accepted: 03.03.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Keywords

Iteration Method,
Convergence,
Data Dependence,
Stability

Abstract: Iteration methods are an important field of study in fixed point theory and have an extensive literature. Different types of iteration methods were defined in many spaces by researchers, and the results such as convergence, rate of convergence, stability and data dependence of these methods were examined. In this study, a new iteration method of Jungck Type was defined and the convergence of this method for a certain mapping class was investigated. Then, using this mapping class for this iteration method, the results of stability and data dependence were obtained. Additionally, the rate of convergence of the newly defined iteration method with Jungck CR iteration method was compared under suitable conditions and an example supporting this result was given.

Jungck-Tipi İterasyon Yöntemi İçin Veri Bağıllığının İncelenmesi

Anahtar Kelimeler

İterasyon Yöntemleri,
Yakınsaklık,
Veri Bağıllığı,
Kararlılık

Özet: İterasyon yöntemleri sabit nokta teorisinde önemli bir çalışma alanı olup geniş bir literatüre sahiptir. Araştırmacılar tarafından birçok uzayda farklı türden iterasyon yöntemleri tanımlanarak, bu yöntemlerin yakınsaklığı, yakınsaklık hızları, kararlılığı ve veri bağıllığı gibi sonuçlar irdelenmiştir. Bu çalışmada, Jungck tipi yeni bir iterasyon yöntemi tanımlanarak bu yöntemin belirli bir dönüşüm sınıfı için yakınsaklığı incelenmiştir. Daha sonra bu iterasyon yöntemi için söz konusu dönüşüm sınıfı kullanılarak kararlılık ve veri bağıllığı sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca yeni tanımlanan iterasyon yönteminin uygun şartlar altında yakınsaklık hızı Jungck CR iterasyon yöntemiyle karşılaştırılarak bu sonucu destekleyen örnek verilmiştir.

*İlgili Yazar, email: mmaldar@aksaray.edu.tr

1. Introduction

There is a wide range of interest in literature of fixed point theory. In this context, many newly iteration methods have been introduced, and strong convergence, data dependence, stability, and rate of convergence of various iteration methods have been studied by researchers (see [1]-[6]). In 1976, Jungck defined the Jungck iteration method [7]. After that, obtaining fixed point results of some iteration methods for Jungck type has been the concept of research. Such studies have become the subject of various researchs (see [8]-[10]). Below, some of these studies has been given in a chronological order:

In 2005, Jungck-Mann iteration method was defined by Singh et al. [11], in 2008 Jungck-Ishikawa iteration method and Jungck-Noor iteration method were defined by Olatinwo [12], [13], in 2011, Jungck-SP iteration method was defined by Chugh et al. [14], in 2013, Jungck-CR iteration method and Jungck-Sahu iteration method were defined by Hussain et al. [15], Jungck-Agarwal iteration method was defined by Chugh et al. [16], in 2014, Jungck-Khan iteration method was defined Khan et al. [17], in 2016 Jungck-Mann hybrid iteration method was defined by Akewe [18], in 2019 Jungck type iteration method was defined by Atalan [19].

2. Material and Method

We need some definitions, lemmas for the new Jungck-type iteration method and main results.

Definition 2.1. Let X be Banach space, Y an arbitrary set and $S, T: Y \rightarrow X$ such that $T(Y) \subseteq S(Y)$. For $x_0 \in Y$, following iteration method:

$$Sx_{n+1} = f(T, x_n) = Tx_n \quad (1)$$

for all $n \in \mathbb{N}$. If $S = I$ (unit mapping) and $Y = X$ in the above equation, it is easily seen that Picard iteration method is obtained. This iteration method is called Jungck iteration method [7].

Definition 2.2. The pair $S, T: Y \rightarrow X$ is called contractive if there exist a real number $\delta \in [0, 1)$ and a continuous function $\phi: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$ such that $\phi(0) = 0$ and for all $x, y \in Y$, we have

$$\|Tx - Ty\| \leq \phi(\|Sx - Tx\|) + \delta\|Sx - Sy\| \quad (2)$$

[12].

Definition 2.3. Let X be a nonempty set and $S, T: X \rightarrow X$ be mappings. If $Tx = Sx$, then $x \in X$ is called coincidence point of T and S . If $x = Tx = Sx$, then $x \in X$ is called common fixed point of T and S . If $p = Tx = Sx$ for some $x \in X$, then p is called the point of coincidence of T and S . If $TSx = STx$ for all $x \in X$, then a pair (S, T) is called commuting. If $TSx = STx$ whenever $Tx = Sx$ for some $x \in X$, then a pair (S, T) is called weakly compatible [20].

Lemma 2.4. Let $\{\sigma_n\}_{n=0}^\infty$ and $\{\mu_n\}_{n=0}^\infty$ be nonnegative real sequences satisfying the following inequality

$$\sigma_{n+1} \leq (1 - \lambda_n)\sigma_n + \mu_n$$

where $\lambda_n \in (0, 1)$ for all $n \geq n_0$, $\sum_{n=0}^\infty \lambda_n = \infty$ and $\frac{\mu_n}{\lambda_n} \rightarrow 0$ as $n \rightarrow \infty$. Then $\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma_n = 0$ [21].

Lemma 2.5. Let $\{\sigma_n\}_{n=0}^\infty$ be nonnegative real sequence. Assume that there exists $n_0 \in \mathbb{N}$, such that for all the $n \geq n_0$ one has the inequality

$$\sigma_{n+1} \leq (1 - \lambda_n)\sigma_n + \lambda_n\rho_n$$

where $\lambda_n \in (0, 1)$ for all $n \in \mathbb{N}$, $\sum_{n=0}^\infty \lambda_n = \infty$, and $\rho_n \geq 0$. Then the following inequality holds:

$$0 \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \sigma_n \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \rho_n$$

[22].

Definiton 2.6. Let $\{a_n\}_{n=1}^\infty$ and $\{b_n\}_{n=1}^\infty$ be two sequences of real numbers with same limit c . If

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{d(a_n, c)}{d(b_n, c)} = 0 \quad (3)$$

then we say that $\{a_n\}_{n=0}^\infty$ converges faster than $\{b_n\}_{n=0}^\infty$ to c [23].

Definition 2.7. Let $S, T: Y \rightarrow X$, $T(Y) \subseteq S(Y)$ and $p = Tx = Sx$. For any $x_0 \in Y$, let the sequence $\{Sx_n\}_{n=0}^\infty$ generated by the iteration method $Sx_{n+1} = f(T, x_n)$ converges to p . Let $\{Sy_n\}_{n=0}^\infty \subset X$ be an arbitrary sequence and set

$$\epsilon_n = d(Sy_{n+1}, f(T, y_n)), n = 0, 1, 2, \dots$$

Then the iteration method $f(T, x_n)$ will be called (S, T) -stable if and only if $\lim_{n \rightarrow \infty} \epsilon_n = 0$ implies that $\lim_{n \rightarrow \infty} Sy_n = p$ [11].

Definition 2.8. Let $(S, T), (\tilde{S}, \tilde{T}): Y \rightarrow X$ be nonself-mapping pairs on an arbitrary set Y such that $T(Y) \subseteq S(Y)$ and $\tilde{T}(Y) \subseteq \tilde{S}(Y)$. We say that the pair $(\tilde{S}, \tilde{T})$ is an approximate mapping pair of (S, T) if for all $x \in Y$ and for fixed $\epsilon_1 \geq 0, \epsilon_2 \geq 0$, we have

$$\|Tx - \tilde{T}x\| \leq \epsilon_1, \|Sx - \tilde{S}x\| \leq \epsilon_2$$

[17].

Iteration methods which is given below, are used for results we obtained. Thus, let us go through with Jungck-Type iteration method CR [15] as follows:

$$\begin{cases} Sx_{n+1} = (1 - \alpha_n)Sy_n + \alpha_n Tz_n \\ Sy_n = (1 - \beta_n)Tx_n + \beta_n Tz_n \\ Sz_n = (1 - \gamma_n)Sx_n + \gamma_n Tx_n \end{cases} \quad (4)$$

where $\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty, \{\beta_n\}_{n=0}^\infty, \{\gamma_n\}_{n=0}^\infty \subset [0, 1]$.

We have defined a new Jungck type iteration method as follows:

$$\begin{cases} Sx_{n+1} = (1 - \alpha_n)Ty_n + \alpha_n Tz_n \\ Sy_n = (1 - \beta_n)Tx_n + \beta_n Tz_n \\ Sz_n = (1 - \gamma_n)Sx_n + \gamma_n Tx_n \end{cases} \quad (5)$$

where $\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty, \{\beta_n\}_{n=0}^\infty, \{\gamma_n\}_{n=0}^\infty \subset [0, 1]$.

3. Results

We use the following assumption in this paper: $C(S, T)$ denotes the set of coincidence points of $\mathbb{T}$ and $\mathbb{T}$.

Theorem 3.1. Let $(X, \|\cdot\|)$ be a Banach space, $S, T: Y \rightarrow X$ satisfies condition (2), where $T(Y) \subseteq S(Y), S(Y)$ is a complete subset of X and assume that there exist a $z \in C(S, T)$ such that $Tz = Sz = p$. Let $\{Sx_n\}_{n=0}^\infty$ be iterative sequence (5) with $\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty, \{\beta_n\}_{n=0}^\infty, \{\gamma_n\}_{n=0}^\infty \subset [0, 1]$ and $\sum_{n=0}^\infty \alpha_n \beta_n \gamma_n = \infty$. Then, $\{Sx_n\}_{n=0}^\infty$ converges to p . Moreover, p is a unique common fixed point of (S, T) provided that $Y = X$, and S and T are weakly compatible.

Proof. By using iterative sequence (5) and condition (2), we have

$$\begin{aligned} \|Sx_{n+1} - p\| &\leq (1 - \alpha_n)\|Ty_n - p\| + \alpha_n\|Tz_n - p\| \\ &\leq (1 - \alpha_n)\delta\|Sy_n - Sz\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\ &\quad + \alpha_n\delta\|Sz_n - Sz\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\ &= (1 - \alpha_n)\delta\|Sy_n - p\| + \alpha_n\delta\|Sz_n - p\| \end{aligned} \quad (6)$$

and

$$\begin{aligned} \|Sz_n - p\| &\leq (1 - \gamma_n)\|Sx_n - p\| + \gamma_n\|Tz_n - p\| \\ &\leq (1 - \gamma_n)\|Sx_n - Sz\| + \gamma_n\delta\|Sx_n - Sz\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\ &= [1 - \gamma_n(1 - \delta)]\|Sx_n - p\| \end{aligned} \quad (7)$$

also

$$\begin{aligned}
\|Sy_n - p\| &\leq (1 - \beta_n)\|Tx_n - p\| + \beta_n\|Tz_n - p\| \\
&\leq (1 - \beta_n)\delta\|Sx_n - Sz\| + (1 - \beta_n)\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\quad + \beta_n\delta\|Sz_n - Sz\| + \beta_n\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&= (1 - \beta_n)\delta\|Sx_n - p\| + \beta_n\delta\|Sz_n - p\| \\
&\leq \delta[(1 - \beta_n) + \beta_n - \beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Sx_n - p\| \\
&\leq \delta[1 - \beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Sx_n - p\|.
\end{aligned} \tag{8}$$

Substituting (7) in (6) and (7), (8) in (6) respectively, we obtain

$$\begin{aligned}
\|Sx_{n+1} - p\| &\leq (1 - \alpha_n)\delta[1 - \beta_n(1 - \delta)]\|Sx_n - p\| \\
&\quad + \alpha_n[1 - \gamma_n(1 - \delta)]\|Sx_n - p\| \\
&\leq \delta \left\{ \begin{array}{l} 1 - \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta) + \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta) \\ - \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta) \end{array} \right\} \|Sx_n - p\| \\
&\leq \delta[1 - \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Sx_n - p\|.
\end{aligned} \tag{9}$$

Then

$$\begin{aligned}
\|Sx_{n+1} - p\| &\leq \delta^{n+1} \prod_{i=0}^n [1 - \alpha_i\beta_i\gamma_i(1 - \delta)]\|Sx_{n+1} - p\| \\
&\leq \delta^{n+1} \frac{1}{e^{(1-\delta)\sum_{i=0}^n \alpha_i\beta_i\gamma_i}} \|Sx_0 - p\|.
\end{aligned} \tag{10}$$

Taking the limit the above inequality, it can be seen that $\lim_{n \rightarrow \infty} \|Sx_n - p\| = 0$.

We prove that p is a unique common fixed point of S, T , when $Y = X$.

Assume that there exist another point of coincide q of the pair (S, T) . Then there exist $r \in C(S, T)$ such that $Sr = Tr = q$ We get,

$$0 \leq \|p - q\| = \|Tz - Tr\| \leq \phi(\|Sz - Tz\|) + \delta\|Sz - Sr\| = \delta\|p - q\|$$

which implies that $p = q$. S, T are weakly compatible and $Sz = Tz = p$, then $Tp = TTz = TSz = STz$ implies $Tp = Sp$. Hence, Tp is a point of coincidence of the pair (S, T) and because point of coincidence is unique, then $Tp = p = Sp$ and thus p is a unique common fixed point of S and T .

Theorem 3.2. Let $(X, \|\cdot\|)$ be a Banach space, $S, T: Y \rightarrow X$ satisfies condition (2), where $T(Y) \subseteq S(Y)$, $S(Y)$ is a complete subset of X and assume that there exist a $z \in C(S, T)$ such that $Tz = Sz = p$. Let $\{Sx_n\}_{n=0}^\infty$ be iterative sequence (5) with $0 < \alpha_1 < \alpha_n$, $0 < \beta_1 < \beta_n$, $0 < \gamma_1 < \gamma_n$ converges to p . Also let $\{Su_n\}_{n=0}^\infty \subset X$ be an arbitrary sequence and let $\epsilon_n = d(Su_{n+1}, f(T, u_n))$, $n = 0, 1, 2, \dots$. Then iteration method (5) is (S, T) -stable.

Proof. Let $\lim_{n \rightarrow \infty} \epsilon_n = 0$ such that $\epsilon_n = \|Su_{n+1} - ((1 - \alpha_n)Tv_n + \alpha_nTw_n)\|$.

$$\begin{aligned}
\|Su_{n+1} - p\| &\leq \|Su_{n+1} - ((1 - \alpha_n)Tv_n + \alpha_nTw_n)\| \\
&\quad + \|(1 - \alpha_n)Tv_n + \alpha_nTw_n - p\| \\
&\leq \epsilon_n + (1 - \alpha_n)\|Tv_n - Tz\| + \alpha_n\|Tw_n - Tz\|
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\leq \epsilon_n + \delta(1 - \alpha_n)\|Sv_n - Sz\| + (1 - \alpha_n)\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\quad + \delta\alpha_n\|Sw_n - Sz\| + \alpha_n\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&= \epsilon_n + \delta(1 - \alpha_n)\|Sv_n - p\| + \delta\alpha_n\|Sw_n - p\|
\end{aligned} \tag{11}$$

and

$$\begin{aligned}
\|Sw_n - p\| &\leq (1 - \gamma_n)\|Su_n - p\| + \gamma_n\|Tu_n - p\| \\
&\leq (1 - \gamma_n)\|Su_n - p\| + \gamma_n\delta\|Su_n - p\| + \gamma_n\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\leq [1 - \gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\|
\end{aligned} \tag{12}$$

and moreover

$$\begin{aligned}
\|Sv_n - p\| &\leq (1 - \beta_n)\|Tu_n - p\| + \beta_n\|Tw_n - p\| \\
&\leq (1 - \beta_n)\delta\|Su_n - Sz\| + (1 - \beta_n)\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\quad + \beta_n\phi(\|Sz - Tz\|) + \beta_n\delta\|Sw_n - Sz\| \\
&= (1 - \beta_n)\delta\|Su_n - Sz\| + \beta_n\delta\|Sw_n - p\| + \\
&\quad \leq \delta[(1 - \beta_n) + \beta_n(1 - \gamma_n(1 - \delta))]\|Su_n - p\| \\
&\leq \delta[(1 - \beta_n) + \beta_n - \beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\| \\
&\leq \delta[1 - \beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\|.
\end{aligned} \tag{13}$$

If we combine (11) in (12) and (13) then, we have

$$\|Su_{n+1} - p\| \leq \epsilon_n + \delta[1 - \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\|. \tag{14}$$

Hence $0 < \alpha_1 < \alpha_n, 0 < \beta_1 < \beta_n, 0 < \gamma_1 < \gamma_n$ and $\delta \in [0, 1)$, we get

$$[1 - \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta)] \leq [1 - \alpha_1\beta_1\gamma_1(1 - \delta)] < 1.$$

Then we obtain $\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = p$.

Now, we suppose that $\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = p$. It will be shown that $\lim_{n \rightarrow \infty} \epsilon_n = 0$:

$$\begin{aligned}
\epsilon_n &= \|Su_{n+1} - ((1 - \alpha_n)Tv_n + \alpha_nTw_n) - p + p\| \\
&\leq \|Su_{n+1} - p\| + (1 - \alpha_n)\|Tv_n - Tz\| + \alpha_n\|Tw_n - Tz\| \\
&\leq \|Su_{n+1} - p\| + \delta(1 - \alpha_n)\|Sz - Sv_n\| + (1 - \alpha_n)\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\quad + \alpha_n\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\leq \|Su_{n+1} - p\| + \delta(1 - \alpha_n)\|Sv_n - p\| + \alpha_n\|Sw_n - p\|.
\end{aligned}$$

From (13) it can be seen easily $\|Sv_n - p\| \leq \delta[1 - \beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\|$. Then we get

$$\epsilon_n \leq \|Su_{n+1} - p\| + \delta[1 - \alpha_n(1 - \delta)]\|Sw_n - p\|$$

Also, from (12), $\|Sw_n - p\| \leq [1 - \gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\|$. We obtain

$$\epsilon_n \leq \|Su_{n+1} - p\| + \delta[1 - \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\|.$$

Taking the limit in the above inequality, it can be seen that $\lim_{n \rightarrow \infty} \epsilon_n = 0$.

Theorem 3.3. Let $(X, \|\cdot\|)$ be a Banach space, $(S, T), (\tilde{S}, \tilde{T}): Y \rightarrow X$ satisfies condition (2), where $T(Y) \subseteq S(Y)$ and $\tilde{T}(Y) \subseteq \tilde{S}(Y)$. $\tilde{S}(Y)$ is a complete subset of X and assume that there exist a $z \in C(S, T)$ and a $\tilde{z} \in C(\tilde{S}, \tilde{T})$ such that $Tz = Sz = p$ and $\tilde{T}\tilde{z} = \tilde{S}\tilde{z} = \tilde{p}$. Let $\{Sx_n\}_{n=0}^{\infty}$ be iterative sequence (5) with $\{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty}, \{\beta_n\}_{n=0}^{\infty}, \{\gamma_n\}_{n=0}^{\infty} \subset [0, 1]$ satisfying $\sum_{n=0}^{\infty} \alpha_n \beta_n \gamma_n = \infty$ and $\{\tilde{S}u_{n+1}\}_{n=0}^{\infty}$ a sequence defined by

$$\begin{cases} \tilde{S}u_{n+1} = (1 - \alpha_n)\tilde{T}v_n + \alpha_n\tilde{T}w_n \\ \tilde{S}v_n = (1 - \beta_n)\tilde{T}u_n + \beta_n\tilde{T}w_n \\ \tilde{S}w_n = (1 - \gamma_n)\tilde{S}u_n + \gamma_n\tilde{T}u_n \end{cases} \quad (15)$$

Assume that $\{Sx_{n+1}\}_{n=0}^{\infty}$ and $\{\tilde{S}u_{n+1}\}_{n=0}^{\infty}$ convergence to p and $\tilde{p}$. Then we have

$$\|p - \tilde{p}\| = \frac{8\epsilon}{(1 - \delta)}.$$

Proof. By using iterative sequence (5), iterative sequence (15), condition (2), and Definition 2.8

$$\begin{aligned} \|Sx_{n+1} - \tilde{S}u_{n+1}\| &\leq (1 - \alpha_n)\|Ty_n - \tilde{T}v_n\| + \alpha_n\|Tz_n - \tilde{T}w_n\| \\ &\leq (1 - \alpha_n)\|Ty_n - Tv_n\| + (1 - \alpha_n)\|Tv_n - \tilde{T}v_n\| \\ &\quad + \alpha_n\|Tz_n - Tw_n\| + \alpha_n\|Tw_n - \tilde{T}w_n\| \\ &\leq (1 - \alpha_n)\delta\|Sy_n - Sv_n\| + (1 - \alpha_n)\phi(\|Sy_n - Ty_n\|) \\ &\quad + \alpha_n\delta\|Sz_n - Sw_n\| + \alpha_n\phi(\|Sz_n - Tz_n\|) + \epsilon_1 \\ &\leq (1 - \alpha_n)\delta\|Sy_n - \tilde{S}v_n\| + (1 - \alpha_n)\delta\|\tilde{S}v_n - Sv_n\| \\ &\quad + (1 - \alpha_n)\phi(\|Sy_n - Ty_n\|) + \alpha_n\delta\|Sz_n - \tilde{S}w_n\| \\ &\quad + \alpha_n\delta\|\tilde{S}w_n - Sw_n\| + \alpha_n\phi(\|Sz_n - Tz_n\|) + \epsilon_1 \\ &\leq (1 - \alpha_n)\delta\|Sy_n - \tilde{S}v_n\| + (1 - \alpha_n)\phi(\|Sy_n - Ty_n\|) \\ &\quad + \alpha_n\delta\|Sz_n - \tilde{S}w_n\| + \alpha_n\phi(\|Sz_n - Tz_n\|) + \epsilon_1 + \delta\epsilon_2 \end{aligned} \quad (16)$$

and

$$\begin{aligned} \|Sz_n - \tilde{S}w_n\| &\leq (1 - \gamma_n)\|Sx_n - \tilde{S}u_n\| + \gamma_n\|Tx_n - \tilde{T}u_n\| \\ &\leq (1 - \gamma_n)\|Sx_n - \tilde{S}u_n\| + \gamma_n\|Tx_n - Tu_n^{(1)}\| + \gamma_n\|Tu_n - \tilde{T}u_n\| \\ &\leq (1 - \gamma_n)\|Sx_n - \tilde{S}u_n\| + \gamma_n\epsilon_1 + \gamma_n\phi(\|Sx_n - Tx_n\|) \\ &\quad + \delta\gamma_n\|Sx_n - \tilde{S}u_n\| + \delta\gamma_n\|Su_n - \tilde{S}u_n\| \\ &\leq (1 - (1 - \delta)\gamma_n)\|Sx_n - \tilde{S}u_n\| + \gamma_n\phi(\|Sx_n - Tx_n\|) + \gamma_n\epsilon_1 + \delta\gamma_n\epsilon_2 \end{aligned} \quad (17)$$

and

$$\begin{aligned} \|Sy_n - \tilde{S}v_n\| &\leq (1 - \beta_n)\|Tx_n - \tilde{T}u_n\| + \beta_n\|Tz_n - \tilde{T}w_n\| \\ &\leq (1 - \beta_n)\|Tx_n - Tu_n\| + (1 - \beta_n)\|Tu_n - \tilde{T}u_n\| \\ &\quad + \beta_n\|Tz_n - Tw_n\| + \beta_n\|Tw_n - \tilde{T}w_n\| \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\leq (1 - \beta_n)\delta\|Sx_n - Su_n\| + (1 - \beta_n)\phi(\|Sx_n - Tx_n\|) \\
&\quad + \beta_n\delta\|Sz_n - Sw_n\| + \beta_n\phi(\|Sz_n - Tz_n\|) + \epsilon_1 \\
&\leq (1 - \beta_n)\delta\|Sx_n - Su_n\| + (1 - \beta_n)\phi(\|Sx_n - Tx_n\|) \\
&\quad + \beta_n\delta\epsilon_2 + \beta_n\phi(\|Sz_n - Tz_n\|) + \epsilon_1 + \beta_n\delta\gamma_n\epsilon_2 + \beta_n\delta\gamma_n\epsilon_1 \\
&\quad + \beta_n\delta(1 - (1 - \delta)\gamma_n)\|Sx_n - \tilde{S}u_n\| + \beta_n\delta\gamma_n\phi(\|Sx_n - Tx_n\|) \\
&\leq (1 - \beta_n\gamma_n(1 - \delta))\|Sx_n - \tilde{S}u_n\| + (1 - \beta_n)\delta\epsilon_2 \\
&\quad + \beta_n\delta\epsilon_2 + \beta_n\phi(\|Sz_n - Tz_n\|) + \epsilon_1 + \beta_n\delta\gamma_n\epsilon_2 + \beta_n\delta\gamma_n\epsilon_1 \\
&\quad + \beta_n\delta\gamma_n\phi(\|Sx_n - Tx_n\|) + (1 - \beta_n)\phi(\|Sx_n - Tx_n\|). \tag{18}
\end{aligned}$$

Using $1 - \alpha_n\beta_n\gamma_n \leq \alpha_n\beta_n\gamma_n$ and combining (16), (17) and (18)

$$\begin{aligned}
\|Sx_{n+1} - \tilde{S}u_{n+1}\| &\leq (1 - \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta))\|Sx_n - \tilde{S}u_n\| + 2\alpha_n\gamma_n\beta_n\phi(\|Sx_n - Tx_n\|) \\
&\quad + 2\alpha_n\gamma_n\beta_n\phi(\|Sy_n - Ty_n\|) + 2\alpha_n\gamma_n\beta_n\phi(\|Sz_n - Tz_n\|) + 4(\epsilon_1 + \epsilon_2)
\end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
\|Sz_n - Tz_n\| &\leq \|Sz_n - p\| + \|Tz_n - Tz\| \\
&\leq \|Sz_n - p\| + \delta\|Sz_n - Sz\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\leq (1 + \delta)\|(1 - \gamma_n)Sx_n + \gamma_nTx_n - p\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\leq (1 + \delta)(1 - \gamma_n)\|Sx_n - p\| + \gamma_n\|Tx_n - Tz\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\leq ((1 + \delta)(1 - \gamma_n) + \gamma_n)\|Sx_n - p\| + (1 + \gamma_n)\phi(\|Sz - Tz\|) \tag{19}
\end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
\|Sx_n - Tx_n\| &\leq \|Sx_n - p\| + \|Tx_n - Tz\| \\
&\leq (1 + \delta)\|Sx_n - p\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \tag{20}
\end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
\|Sz_n - p\| &\leq (1 - \gamma_n)\|Sx_n - p\| + \gamma_n\|Tx_n - p\| \\
&\leq (1 - \gamma_n)\|Sx_n - p\| + \gamma_n\delta\|Sx_n - p\| + \gamma_n\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&= [1 - \gamma_n(1 - \delta)]\|Sx_n - p\| + \gamma_n\phi(\|Sz - Tz\|) \tag{21}
\end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
\|Sy_n - Ty_n\| &\leq \|Sy_n - p\| + \|Ty_n - Tz\| \\
&\leq (1 + \delta)\|Sy_n - p\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\leq (1 + \delta)\|(1 - \beta_n)Tx_n + \beta_nTz_n - p\| + \phi(\|Sz - Tz\|)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\leq (1 + \delta)(1 - \beta_n)\|Tx_n - p\| + (1 + \delta)\beta_n\|Tz_n - p\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\leq (1 + \delta)(1 - \beta_n)\|Sx_n - p\| + (1 + \delta)\beta_n\|Sz_n - p\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\leq (1 + \delta)((1 - \beta_n) + \beta_n[1 - \gamma_n(1 - \delta)])\|Sx_n - p\| \\
&\quad + \gamma_n\phi(\|Sz - Tz\|) + \phi(\|Sz - Tz\|)
\end{aligned} \tag{22}$$

$$\sigma_n = \|Sx_n - \tilde{S}u_n\|$$

$$\lambda_n = \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta)$$

$$\rho_n = \frac{2\phi(\|Sx_n - Tx_n\|) + 2\phi(\|Sy_n - Ty_n\|) + 2\phi(\|Sz_n - Tz_n\|) + 8(\epsilon_1 + \delta\epsilon_2)}{(1 - \delta)}$$

Taking the limit in both sides of the (19), (20), (21) and (22) inequalities, it can be seen that $\lim_{n \rightarrow \infty} \phi(\|Sx_n - Tx_n\|) = \lim_{n \rightarrow \infty} \phi(\|Sy_n - Ty_n\|) = \lim_{n \rightarrow \infty} \phi(\|Sz_n - Tz_n\|) = 0$.

Hence an application of Lemma 2.5 and we obtain

$$\|p - \tilde{p}\| = \frac{8\epsilon}{(1 - \delta)}.$$

Theorem 3.4. Let $(X, \|\cdot\|)$ be a Banach space, $S, T: Y \rightarrow X$ satisfies condition (2), where $T(Y) \subseteq S(Y)$, $S(Y)$ is a complete subset of X and assume that there exist a $z \in C(S, T)$ such that $Tz = Sz = p$. Let $\{Sx_n\}_{n=0}^\infty$ be iterative sequence (5) with $\sum_{n=0}^\infty \alpha_n\beta_n\gamma_n = \infty$ and $\lim_{n \rightarrow \infty} \alpha_n = 0$. Let $\{Su_n\}_{n=0}^\infty$ be iterative sequence (4) with $\lim_{n \rightarrow \infty} \beta_n = 0$. Assume that p is the unique common fixed point of the pair (S, T) . Then $\{Sx_n\}_{n=0}^\infty$ converges to p faster than $\{Su_n\}_{n=0}^\infty$ for $x_0 = u_0 \in Y$.

Proof. From inequality (16) in Theorem 3.1., we have

$$\|Sx_{n+1} - p\| \leq \delta^{n+1} \prod_{i=0}^n [1 - \alpha_i\beta_i\gamma_i(1 - \delta)] \|Sx_0 - p\|. \tag{23}$$

By using iteration method (4) and condition (2), we have

$$\begin{aligned}
\|Sw_n - p\| &\leq (1 - \gamma_n)\|Su_n - Sz\| + \gamma_n\|Tu_n - Tz\| \\
&\leq (1 - \gamma_n)\|Su_n - Sz\| + \gamma_n\delta\|Su_n - Sz\| + \phi(\|Sz - Tz\|) \\
&= [1 - \gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\|
\end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
\|Sv_n - p\| &\leq (1 - \beta_n)\|Tu_n - p\| + \beta_n\|Tw_n - p\| \\
&\leq (1 - \beta_n)\delta\|Su_n - Sz\| + (1 - \beta_n)\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\quad + \beta_n\delta\|Sw_n - Sz\| + \beta_n\phi(\|Sz - Tz\|) \\
&\leq \delta[(1 - \beta_n) + \beta_n - \beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\| \\
&\leq \delta[1 - \beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\|
\end{aligned}$$

and

$$\|Su_{n+1} - p\| \geq (1 - \alpha_n)\|Sv_n - p\| - \alpha_n\|Tw_n - p\|$$

$$\begin{aligned}
 &\geq (1 - \alpha_n)\|Sv_n - Sz\| + \phi(\|Sz - Tz\|) - \alpha_n\delta\|Sw_n - Sz\| - \phi(\|Sz - Tz\|) \\
 &\geq [1 - \alpha_n - \beta_n\gamma_n(1 - \delta) + \alpha_n\beta_n\gamma_n(1 - \delta) - \delta\alpha_n + \alpha_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\| \\
 &\geq [1 - \alpha_n(1 - \delta) - \beta_n\gamma_n(1 - \delta)]\|Su_n - p\| \\
 &\geq [1 - (1 - \delta)(\alpha_n + \beta_n\gamma_n)]\|Su_n - p\|
 \end{aligned}$$

Also, we have

$$\left\| \frac{Sx_{n+1} - p}{Su_{n+1} - p} \right\| \leq \delta^{(n+1)} \frac{\prod_{i=0}^n [1 - \alpha_i\beta_i\gamma_i(1 - \delta)]\|Sx_0 - p\|}{\prod_{i=0}^n [1 - (\alpha_i + \beta_i\gamma_i)(1 - \delta)]\|Su_0 - p\|}$$

Define

$$\phi_n = \delta^{(n+1)} \frac{\prod_{i=0}^n [1 - \alpha_i\beta_i\gamma_i(1 - \delta)]\|Sx_0 - p\|}{\prod_{i=0}^n [1 - (\alpha_i + \beta_i\gamma_i)(1 - \delta)]\|Su_0 - p\|}.$$

We get $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\phi_{n+1}}{\phi_n} < 1$ That is $\lim_{n \rightarrow \infty} \phi_n = 0$ which implies that $\{Sx_n\}_{n=0}^{\infty}$ converges to p faster than $\{Su_n\}_{n=0}^{\infty}$.

Example 3.5. Let $Y = [0,1] \subset \mathbb{R}$ be endowed with usual metric. Define operators $T, S: [0,1] \rightarrow [0,17]$ with a coincidence point $p = 17$ by $Tx = 24x - 2x^5 - 5$ and $Sx = 17x^2$. It is clear that $T([0,1]) \subseteq S([0,1])$ and $S([0,1])$ is a complete subset of $[0,17]$. Let $\delta \in (0,1)$, $x_0 = 0.6$ and $\alpha_n = \beta_n = \gamma_n = \frac{1}{3}$. The convergence result for two Jungck-type iteration methods (5), and (4) to $p = 17 = S1 = T1$ are listed in the following tables:

Table 1: Convergence of iteration Method (5) with initial point $x_0 = 0.6$

Iteration Steps	Iteration Method (5)	Sx_n	Tx_n
1.	0,6000000000000000	6,1200000000000000	9,2444800000000000
2.	0,83405675327201	11,82606135053700	14,21011215711840
3.	0,95226046870888	15,41560000451620	16,28818988746500
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
12.	0,99999994528445	16,99999813967140	16,99999923398220
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
22.	0,99999999999999	16,99999999999970	16,99999999999990
23.	1,0000000000000000	17,0000000000000000	17,0000000000000000
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
33.	1,0000000000000000	17,0000000000000000	17,0000000000000000
34.	1,0000000000000000	17,0000000000000000	17,0000000000000000

Table 2: Convergence of iteration Method (4) with initial point $x_0 = 0.6$

Iteration Steps	Iteration Method (4)	Sx_n	Tx_n
1.	0,6000000000000000	6,1200000000000000	9,2444800000000000
2.	0,76145692681088	9,85688307360059	12,76298187191080
3.	0,88034295744818	13,17506328638630	15,07070884153580
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
12.	0,99998051894755	16,99933765066840	16,99972725767560
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
22.	0,9999999913855	16,99999997071070	16,99999998793970
23.	0,9999999968392	16,99999998925330	16,99999999557490
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
33.	0,99999999999999	16,99999999999970	16,99999999999990
34.	1,0000000000000000	17,0000000000000000	17,0000000000000000

4. Discussion and Conclusion

It is showed that in Theorem 3.1, the newly defined iteration has convergence. In Theorem 3.2, it is indicated that stability results can be obtained by using the new iteration method (5) for certain mapping classes. Moreover, Theorem 3.3 has mentioned results of data dependence. In Theorem 3.4, the rate of convergence for two iterations are compared. Applications provided from Theorem 3.4 that is shown in Table 1 and Table 2, has investigated the new iteration method which is faster than the other in the literature. This research also contributes to the literature.

References

- [1] Mann, W.R. 1953. Mean value methods in iteration. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 4, 506–510.
- [2] Ishikawa, S. 1974. Fixed points by a new iteration method. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 44(1), 147–150.
- [3] Noor, M.A. 2000. New approximation schemes for general variational inequalities. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 251(1), 217–229.
- [4] Gürsoy F, Karakaya V, Rhoades B.E. 2013. Data dependence results of new multistep and S-iterative schemes for contractive-like operators. *Fixed Point Theory and Applications*, 2013: 1-12.
- [5] Dogan, K. 2019. A Comparative Study On Some Recent Iterative Schemes. *Journal Of Nonlinear And Convex Analysis*, 20(11), 2411-2423.
- [6] Atalan, Y. 2019. On a New Fixed Point Iterative Algorithm For General Variational Inequalities. *Journal Of Nonlinear And Convex Analysis*, 20 (11), 2371-2386.
- [7] Jungck, G. 1976. Commuting mappings and fixed points. *American Mathematical Monthly*, 83(4), 261-263.
- [8] Razani, A., Bagherbroum, M. 2013. Convergence and stability of Jungck-type iterative procedures in convex b-metric spaces. *Fixed Point Theory and Applications*, 2013(1), 1-17.
- [9] Okeke, G. A., & Kim, J. K. 2016. Convergence and (S, T)-stability almost surely for random Jungck-type iteration processes with applications. *Cogent Mathematics*, 3(1), 1258768.
- [10] Khan, A. R., Gürsoy, F., Karakaya, V., 2016. Jungck-Khan iterative scheme and higher convergence rate. *International Journal of Computer Mathematics*, 93(12), 1029-2105.
- [11] Singh, S.L., Bhatnagar, C. Mishra, S.N. 2005. Stability of Jungck-type iterative procedures. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 19, 3035–3043.
- [12] Olatinwo, M.O. 2008. Some stability and strong convergence results for the Jungck-Ishikawa iteration process. *Creative Mathematics and Informatics*, 17, 33–42.
- [13] Olatinwo, M.O. 2008. A generalization of some convergence results using a Jungck-Noor three-step iteration process in arbitrary Banach space. *Polytechnica Posnaniensis*, 40, 37–43.
- [14] Chugh, R., Kumar, V. 2011. Strong Convergence and Stability results for Jungck-SP iterative scheme. *International Journal of Computer Applications*, 36(12), 40-46.
- [15] Hussain, N., Kumar, V. Kutbi, M. A. 2013. On rate of convergence of Jungck-type iterative schemes, *Abstract and Applied Analysis*, 2013, 1-15.
- [16] Agarwal R. P., O'Regan D., Sahu D. R., 2007, Iterative construction of fixed points of nearly asymptotically nonexpansive mappings, *Journal of Nonlinear and Convex Analysis*, vol. 8, no. 1, pp. 61–79.
- [17] Khan, A. R., Kumar, V., Hussain, N. 2014. Analytical and numerical treatment of Jungck-type iterative schemes. *Applied Mathematics and Computation*, 231, 521-535.
- [18] Akewe, H. 2016. The stability of a modified Jungck-Mann hybrid fixed point iteration procedure. *International Journal of Mathematical Analysis and Optimization: Theory and Applications*, (2016), 95-104.
- [19] Atalan, Y., Karakaya, V. 2019. Obtaining New Fixed Point Theorems By Using Generalized Banach-Contraction Principle. *Journal of Institute Of Science and Technology*, 35(3). 34-45.

- [20] Jungck, G., Hussain, N. 2007. Compatible Maps and Invariant approximations. J. Math. Anal. Appl., 325 (2), 1003-1012.
- [21] Weng X, 1991. Fixed Point Iteration for Local Strictly Pseudo-Contractive Mapping. Proceedings of the American Mathematical Society, 113 (3): 727-731.
- [22] Soltuz S.M, Grosan T. 2008. Data dependence for Ishikawa iteration when dealing with contractive like operators. Fixed Point Theory. (2008), 1-7.
- [23] Knopp K, 1931. Theory and Application of Infinite Series. Berlin.

Sınırlama Ele Alış Metotlarının Yapay Arı Kolonisi Algoritması Üzerinde Etkisinin İncelenmesi

Demet ALICI KARACA¹ , Bahriye AKAY² ,

*¹ Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, ERZİNCAN

² Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, KAYSERİ

(Alınış / Received: 02.03.2020, Kabul / Accepted: 19.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Yapay Arı Kolonisi
algoritması,
Sınırlamalı optimizasyon,
Sınırlama ele alış metotları,
PEN-ABC,
SR-ABC,
DEB-SR-ABC

Özet: Sürü zekası algoritmaları arasında performansı ile öne çıkan algoritmalarından biri olan Yapay Arı Kolonisi algoritmasının, tasarım parametrelerinin bazı koşullarla kısıtlandığı ve optimum değer kabul edilebilir bölge içinde olması gerektiği sınırlamalı optimizasyon problemlerini çözmek için farklı versiyonları geliştirilmiştir. Kısıtları dikkate alarak problemleri çözmek amacıyla ceza terimine dayalı metotlar, çözümleri kabul edilebilir bölgede tutan metotlar, kabul edilebilir ve kabul edilebilir olmayan çözümler arasında ayıran metotlar ve karma metotlar bulunmaktadır. Bu çalışmada sınırlamalı optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla temel Yapay Arı Kolonisi algoritmasına ceza fonksiyonları, rasgele sıralama ve stokastik Deb kuralları entegre edilerek yeni yöntemler önerilmiştir. Önerilen yöntemler literatürde sıklıkla kullanılan sınırlamalı test problemleri üzerinde test edilmiş ve literatürdeki algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda çalışma kapsamında önerilen yöntemler sınırlamalı optimizasyon problemlerinin çözümünde diğer algoritmalarla benzer ya da daha iyi sonuçlar üretmiştir.

Analyzing the Effect of Constraint-handling Methods on Artificial Bee Colony Algorithm

Keywords

Artificial Bee Colony
algorithm,
Constrained optimization,
constraint-handling
methods,
PEN-ABC,
SR-ABC,
DEB-SR-ABC

Abstract: Different modifications of the Artificial Bee Colony algorithm, which stands out with its performance among swarm intelligence algorithms, have been developed to solve the constrained optimization problems in which the design parameters are restricted by certain conditions and the optimum value should be located within the feasible region. In order to solve the problems by considering the constraints, there are methods based on penalty functions, methods based on preserving feasibility of solutions, methods which distinguish between feasible and infeasible solutions and hybrid methods. In this study, in order to solve the constrained optimization problems, new methods have been proposed by integrating penalty functions, stochastic ranking and stochastic Deb's rules into the basic Artificial Bee Colony algorithm. The proposed methods have been tested on well-known constrained test problems in the literature, and the results have been compared with other state-of-the-art algorithms. The results indicate that proposed methods showed similar or better performance to solve constrained optimization problems when compared to the other algorithms considered in this study.

Sorumlu Yazar: demet.karaca@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Optimizasyon, kısıtlar altında bir problemin minimum ya da maksimum değerini veren parametre değerlerini bulma işlemidir. Sınırlamalı optimizasyon problemleri birçok bilim ve mühendislik alanında kaynaklarla ilgili kısıtların bulunduğu yapısal tasarım, ekonomi, yerleşim ve mühendislik problemleri gibi gerçel problemlerde karşımıza çıkmaktadır [1]. Matematiksel olarak doğrusal olmayan (nonlinear) sınırlamalı optimizasyon problemi, eşitsizlik ve/veya eşitlik sınırlamalarına tabi olarak $f(\vec{x})$ amaç fonksiyonunu minimize eden $\vec{x}$

parametre vektörünü bulma işlemi olarak tanımlanır. Sürekli uzayda Eşitlik 1'de gösterildiği gibi formülize edilebilir.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } f(\vec{x}) \\ & g_j(\vec{x}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m \\ & h_k(\vec{x}) = 0, \quad k = 1, \dots, n \\ & x_i^l \leq x_i \leq x_i^u, \quad i = 1, \dots, D \end{aligned} \quad (1)$$

$\vec{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_D)$ D-boyutlu tasarım parametreleri vektörü, $f(\vec{x})$ en iyilenecek amaç fonksiyonu, araştırma uzayında kabul edilebilir bölgeyi tanımlayan $g_j(\vec{x})$ ve $h_k(\vec{x})$ sırasıyla eşitsizlik ve eşitlik sınırlama fonksiyonlarıdır [2]. m eşitsizlik sınırlamaları sayısı ve n eşitlik sınırlamaları sayısıdır. x_i^l ve x_i^u , x_i parametresinin sırasıyla alt ve üst sınırlarıdır ve optimizasyon probleminin araştırma uzayını tanımlar. Sınırlamalar araştırma uzayını daralttığından dolayı kabul edilebilir çözümleri bulmak zorlaşmaktadır. Çünkü bir çözüm eğer tüm sınırlamaları sağlıyorsa kabul edilebilir çözüm (feasible), tüm sınırlamalar içinde bir tanesini bile sağlamıyorsa kabul edilebilir olmayan (infeasible) çözümdür. Sınırlamaların etkisiyle zorlaşan problemlerin çözümünde, klasik optimizasyon metotları, amaç fonksiyonunun türevlenebilirliği ve sürekliliği konusunda güçlü varsayımlara dayandığından dolayı yetersiz kalmıştır [3]. Modern optimizasyon yöntemleri genellikle ilk olarak sınırlamasız optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir. Sınırlama ele alış (constraint-handling) metotları ile sınırlamalı problemleri çözebilir hale getirmekte ve etkin sonuçlar üretebilmektedir. Sınırlama ele alış metotları, Michalewicz ve Schoenauer [4] tarafından dört kategoriye ayrılmıştır: (i) çözümleri kabul edilebilir bölgede tutan metotlar, (ii) ceza terimine dayalı metotlar, (iii) kabul edilebilir ve kabul edilebilir olmayan çözümler arasında ayırım yapan metotlar ve (iv) karma metotlar.

Runarsson ve Yao, amaç ve ceza fonksiyonların baskınlığına göre ceza fonksiyonları için rasgele sıralamaya (stochastic ranking, SR) dayanan bir yaklaşım önermişlerdir [5]. Runarsson ve Yao başka bir çalışmada ise kabul edilebilir çözümleri amaç fonksiyonu değerlerine göre, kabul edilebilir olmayan çözümleri ise ceza fonksiyonu değerlerine göre sıralayan aşırı ceza yaklaşımını (over penalty approach, OPA) geliştirmiştir. Ayrıca koordinat eksenine bağlı olarak araştırmanın istenen yönde olmaması sorununun çözümü için ise geliştirilmiş stokastik sıralama (improved stochastic ranking, ISR) yöntemini önermişlerdir [6].

Mezura-Montes ve Coello [7] çalışmada basit çok üyeli evrimsel stratejiyi (simple multimembered evolution strategy-SMES) önermiştir. Bu yaklaşım ceza fonksiyonlarının kullanımını gerektirmeden kabul edilebilir olmayan çözümlerin popülasyonda kalmasına izin veren basit bir çeşitlilik (diversity) mekanizması kullanır. Basit bir kabul edilebilirlik temelli karşılaştırma mekanizması ile araştırmayı kabul edilebilir bölgeye doğru yönlendirir. Ayrıca daha iyi bir arama yapabilmek için standart evrimsel stratejideki başlangıç adım büyüklüğü azaltılmış ve panmiktik rekombinasyon tekniği kullanılmıştır.

Munoz [8] sınırlamalı optimizasyon problemlerini çözmek için Deb'in kurallarını [9] Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) algoritmasına entegre etmiştir. Karaboğa ve Akay [10] ise Deb'in kurallarını Diferansiyel Gelişim (Differential Evolution, DE) ve Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC) algoritmalarına entegre ederek sınırlamalı optimizasyon problemine çözüm önermiştir.

Bu çalışmada Karaboğa [11] tarafından önerilen arıların yiyecek arama davranışını simüle eden ABC algoritmasına farklı sınırlama ele alış metotları entegre edilerek sınırlamalı optimizasyon problemlerini çözmek için yöntemler geliştirilmiştir. İlk olarak sınırlamaların aşım miktarına göre bir ceza uygulayan statik ceza fonksiyonları ABC algoritmasına entegre edilmiştir [12]. İkinci yöntem olarak Runarsson ve Yao [5] tarafından geliştirilen SR yaklaşımı yine standart ABC algoritmasına entegre edilerek sınırlamalı optimizasyon problemlerinin çözümü gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım ile kabul edilebilir olmayan çözümler de popülasyona dahil edilerek global optimuma ulaşmaya çalışılmıştır. Son olarak ise ABC algoritmasının seleksiyon mekanizmasında Deb'in kuralları [9] ve SR yaklaşımı birleştirilerek problemlerin çözümünde uygulanmıştır. Bu yöntemle popülasyona hem iyi çözümlerin hem de kabul edilebilir olmayan çözümlerin de dahil edilmesiyle performans ve çeşitlilik katılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde sınırlamasız optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen ABC algoritması ve bu çalışmada kullanılan sınırlama ele alış metotlarına (ceza fonksiyonları, SR yaklaşımı ve Deb'in kuralları) değinilmiştir. Ardından bu bölümde anlatılan sınırlama ele alış metotlarının ABC algoritmasına nasıl entegre edildiği anlatılmıştır. Bulgular bölümünde önerilen yeni yöntemler sınırlamalı test problemleri üzerinde test edilmiş ve literatürdeki diğer algoritmalarla karşılaştırılmış, elde edilen bulgular analiz edilmiştir. Tartışma ve sonuç bölümünde ise analizlerden varılan genel değerlendirmeler yer almaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yapay Arı Kolonisi (ABC) Algoritması

Sınırlamasız optimizasyon problemlerinin çözümü için Karaboğa tarafından önerilen ABC algoritmasında [11] arıların yiyecek arama davranışından esinlenilmiştir. Bu algoritmada üç tür arı bulunur: işçi arı, gözcü arı ve kaşif arı. Bunlar algoritmanın arama ve seleksiyon yapan birimlerine karşılık gelmektedir. Yiyecek kaynaklarının konumu problemin olası çözümleridir. Yiyecek kaynağında bulunan nektar miktarı çözümlerin kalitesini (uygunluk değeri) ifade eder. ABC algoritması, araştırma uzayındaki çözümlerden en fazla nektara sahip kaynağın yerini bulmaya çalışarak problemi en iyileyecek çözümü bulmaya çalışır. Algoritmanın temel adımları Algoritma 1'de verilmiştir [13]:

Algoritma 1. ABC algoritmasının temel adımları

1. Başlangıç yiyecek kaynağı bölgelerinin üretilmesi
2. **repeat**
3. Görevli arıların yiyecek kaynağı bölgelerine gönderilmesi
4. Yiyecek Kaynaklarının Seçilebilme Olasılıklarının Hesaplanması
5. Gözcü Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgesi Seçmeleri
6. Kaşif arı üretimi
7. **until** *cevrim sayısı = maksimum cevrim sayısı*

1. Başlangıç Yiyecek Kaynağı Bölgelerinin Üretilmesi: Algoritma kovan çevresini araştırma uzayı varsayarak rasgele yiyecek kaynağı yerleri oluşturur. Bu yerleri oluştururken her bir parametrenin alt ve üst sınırları dikkate alınarak rasgele değerler üretilir. Yiyecek kaynağı bölgelerinin üretilmesi Eşitlik 2 ile gerçekleştirilir:

$$x_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (2)$$

Bu eşitlikte $i = 1, \dots, SN$, $j = 1, \dots, D$ ve SN yiyecek kaynağı sayısı ve D optimize edilecek parametre sayısıdır. x_j^{min} , j . parametrenin alt sınırı, x_j^{max} ise j . parametrenin üst sınırıdır. Aynı zamanda başlangıç aşamasında her kaynağın geliştirilememe sayısını ifade eden $sayac_i$ (i . kaynağın geliştirilememe sayısı) sayaçları da sıfırlanmaktadır. Başlangıç yiyecek kaynağı bölgeleri üretildikten sonra görevli arı, gözcü arı ve kaşif arı adımları ile daha iyi kaynak bölgeleri bulunmaya çalışılır. ABC algoritmasında durdurma kriteri olarak kabul edilebilir hata değeri (err), maksimum çevrim sayısı (MCN) veya standart durdurma kriteri uygulanabilir.

2. Görevli Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgelerine Gönderilmesi: Görevli arı biriminde her kaynağın civarında yeni bir yiyecek kaynağı Eşitlik 3 ile belirlenir:

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (3)$$

$\vec{x}_i$ ile gösterilen her bir kaynak için, bu kaynağın yani çözümün tek bir parametresi (rastgele seçilen parametresi, j) değiştirilerek $\vec{x}_i$ komşuluğunda $\vec{v}_i$ kaynağı bulunur. Eşitlik 3'te j , $[1, D]$ aralığında rastgele üretilen tamsayıdır. Rastgele seçilen j parametresi değiştirilirken, yine rastgele seçilen $\vec{x}_k$ komşu çözümünün ($k \in \{1, 2, \dots, SN\}$) j . parametresi ile mevcut kaynağın j . parametresinin farkları alınıp $[-1, 1]$ arasında değer alan ϕ_{ij} sayısı ile ağırlıklandırıldıktan sonra mevcut kaynağın j . parametresine eklenmektedir.

Eşitlik sonucu yeni üretilen $\vec{v}_{ij}$ daha önceden belli olan parametre sınırlarını aşarsa Eşitlik 4 ile j . parametreye ait olan alt veya üst sınır değerlerine çekilir.

$$v_{ij} = \begin{cases} x_j^{min} & v_{ij} < x_j^{min} \\ x_j^{max} & v_{ij} > x_j^{max} \end{cases} \quad (4)$$

Sınırlar dahilinde üretilen v_i parametre vektörü yeni bir kaynağı temsil etmekte ve bunun kalitesi Eşitlik 5 ile hesaplanarak bir uygunluk değeri atanmaktadır.

$$fitness_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i) & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & f_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Burada f_i , $\vec{v}_i$ kaynağının yani çözümünün maliyet değeridir. $\vec{x}_i$ ile $\vec{v}_i$ arasında nektar miktarlarına yani uygunluk değerlerine göre bir aç gözlü (greedy) seçim işlemi uygulanır. Yeni bulunan $\vec{v}_i$ çözümü daha iyi ise görevli arı hafızasından eski kaynağın yerini silerek $\vec{v}_i$ kaynağının yerini hafızaya alır. Aksi taktirde görevli arı $\vec{x}_i$ kaynağına gitmeye devam eder ve $\vec{x}_i$ çözümü geliştiremediği için $\vec{x}_i$ kaynağı ile ilgili geliştirememeye sayacı ($sayac_i$) bir artar, yeni çözümün kabul edildiği durumda ise bu sayaç sıfırlanır.

3. Yiyecek Kaynaklarının Seçilebilme Olasılıklarının Hesaplanması: Görevli arı biriminde bütün kaynakların komşuluğunda araştırma tamamlandıktan sonra bulunan kaynakların nektar miktarlarıyla ilgili bilgiler gözcü arı birimi ile paylaşılır. Gözcü arılar yiyecek kaynaklarının nektar miktarıyla orantılı bir olasılık kullanarak bir kaynak seçer. Bu seçim sıralamaya dayalı, stokastik, rulet tekerleği, turnuva yöntemi ya da başka bir seçim yöntemlerinden istenilen ile yapılabilir. Temel ABC algoritması rulet tekerleği kullanarak seçim işlemini yapar. Tekerlekteki her bir dilimin açısı uygunluk değeriyle orantılıdır. Bir kaynağın uygunluk değerinin, tüm kaynakların uygunluk değeri toplamına oranı Eşitlik 6 ile bulunur ve bu oran nispi seçilme olasılığını verir.

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (6)$$

Burada $fitness_i$, i . kaynağın kalitesini, SN yiyecek kaynağı sayısını göstermektedir. Hesaplanan bu olasılık değerinden bir kaynağın uygunluk miktarı arttıkça yani nektar miktarı arttıkça, bu kaynağı seçecek gözcü arı sayısı da dolayısıyla artacaktır.

4. Gözcü Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgesi Seçmeleri: Olasılık değerleri hesaplandıktan sonra her bir kaynak için $[0,1]$ aralığında rastgele sayı üretilir. Rulet tekerleğine göre seçim işleminde bu üretilen sayı, p_i değerinden küçükse gözcü arılar tıpkı görevli arıların yaptığı gibi Eşitlik 3'ü kullanarak bu kaynak bölgesinde yeni bir çözüm üretir. Yeni çözüm değerlendirilir ve kalitesi hesaplanır. Yeni çözüm ve eski çözüm uygunluklarına göre karşılaştırılır. Aç gözlü seleksiyon işlemi kullanılarak iyi olan çözüm seçilir. Yeni çözüm seçilirse çözüm geliştirememeye sayacı ($sayac_i$) sıfırlanır. Eski çözümün daha iyi olduğuna karar verilirse mevcut çözüm korunur ve geliştirememeye sayacı ($sayac_i$) bir artırılır. Bu aşama tüm gözcü arılar yiyecek kaynaklarına yönlendirilene kadar sürer.

5. Kâşif Arı Üretimi: Tüm görevli ve gözcü arı aşamaları bir çevrimi bitirdikten sonra çözüm geliştirememeye sayaçlarına ($sayac_i$) bakılır. Bir kaynağın nektarının tükenip tükenmediği bu sayaçlardan anlaşılır. Bir kaynak için çözüm geliştirememeye sayacı, kontrol parametresi olan $limit$ değerini aştıysa, bu kaynak tükenmiş demektir ve bu kaynağın görevli arısı kendine başka bir kaynak bulmalıdır. Yani görevli arının o kaynakla ilgili görevi biter ve kâşif arı olarak kendine rasgele yeni bir kaynak aramaya başlar (Eşitlik 2). Temel ABC algoritmasında her çevrimde sadece bir kâşif arının çıkmasına izin verilir.

2.2. Ceza Fonksiyonu Kullanan ABC Algoritması

Bu çalışmada ceza fonksiyonu türlerinden statik ceza yapısı ABC algoritmasına entegre edilmiştir ve bu yöntemle PEN-ABC adı verilmiştir. Statik ceza yapısında her problem için verilen sabit bir ceza faktörü bulunmaktadır. Temel ABC algoritmasından farklı olarak her çözüm için hesaplanan ihlal değeri yani sınırlama aşım değeri belli bir eşitlikle amaç fonksiyonuna eklenir. Eşitlik 7 ile yeni amaç fonksiyonu oluşturulur. Bu eşitlikte r_g ceza faktörü ve g_i sınırlama aşım miktarıdır [12]. r_g parametresinin farklı değerlerine göre PEN-ABC algoritmasının performansı ölçülmüştür.

$$f'(x) = f(x) + \sum_{i=1}^m (r_g \times \max[0, g_i(x)]^2) \quad (7)$$

Temel ABC algoritmasından farklı olarak Karaboğa ve Akay [14] sınırlamalı optimizasyon problemlerinin çözümünde yakınsama hızını artırmak için komşu çözüm oluştururken değişim oranı (MR) adı verilen bir parametre ve kâşif arı aşamasında ise kâşif üretim periyodu (SPP) adı verilen başka bir parametre eklemiştir. Ayrıca sınırlamalı ABC algoritmasında popülasyonda kabul edilebilir bölge dışında çözümler olmasına izin verildiği için gözcü arı aşamasında bu çözümler için olasılık hesabında sınırlama aşım değerlerine göre olasılık atanmaktadır.

PEN-ABC algoritmasında yeni bir çözüm üretirken Eşitlik 8 kullanılır [14]. R_j , $[0,1]$ aralığında uniform dağılımlı rasgele sayı, MR , $[0,1]$ aralığında değer alan kontrol parametresidir. ϕ_{ij} , $[-1,1]$ aralığında uniform dağılımlı rasgele bir sayı ve $k \in \{1,2, \dots, SN\}$, i 'den farklı rasgele bir indistir.

$$v_{ij} = \begin{cases} x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}), & R_j < MR \text{ ise} \\ x_{ij}, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (8)$$

PEN-ABC algoritmasında gözcü arıların kaynak seçerken kullandıkları olasılık hesabı Eşitlik 9'da verilmiştir [14]. $\vec{x}_i$ çözümünün, ihlal değeri $\vec{g}_i$ ve uygunluk miktarı $fitness_i$ 'dir.

$$p_i = \begin{cases} 0,5 + \left(\frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \right) * 0,5 & \text{kabul edilebilir ise} \\ \left(1 - \frac{g_i}{\sum_{i=1}^{SN} g_i} \right) * 0,5 & \text{kabul edilebilir değilse} \end{cases} \quad (9)$$

2.3. Stokastik Beslemeli ABC Algoritması

Runarsson ve Yao [5], ceza fonksiyonlarında kullanılan r_g ceza faktörünün belirlenme zorluğunu ortadan kaldırmak ve amaç fonksiyonu ile ceza fonksiyonu arasında dengeyi sağlamak için stokastik sıralama mantığını önermiştir. Sıralamayı yaparken ise kabarcık sıralama prosedürünü kullanmışlardır. Bu prosedür ABC algoritmasının çalışma mantığına göre uyarlanarak ABC algoritmasına entegre edilmiştir ve stokastik beslemeli ABC algoritması SR-ABC olarak isimlendirilmiştir.

SR-ABC algoritmasında işçi ve gözcü arı aşamalarında komşu çözümler temel ABC algoritmasındaki gibi oluşturulur. Burada seleksiyon işlemine geçildiğinde ise aç gözlü seleksiyon işlemi uygulanmaz. Algoritma 2 ile verilen stokastik sıralama prosedürü devreye girer. Öncelikle SN tane mevcut çözüm ve SN tane yeni oluşturulan komşu çözüm birleştirilir. Yani elde edilen $2 * SN$ çözüm stokastik sıralama prosedürüne göre amaç fonksiyonu ve ihlal değerine göre sıralanır. Bu sıralanan çözümler stokastik sıralama algoritmasındaki gibi doğrudan sıraya göre alınmaz. İçlerinden bazı çözümler sıralı olarak bazıları ise çeşitlilik olması açısından rasgele seçilir. Böylece bu seçilen SN tane çözümün içinde tamamen kabul edilebilir çözümler bulunmamış olur ve popülasyondaki farklılık (diversity) sağlanır. Seçilen SN çözüm için uygunluk değerleri hesaplanır ve ABC algoritmasının diğer adımları temel ABC algoritmasındaki ile aynı devam eder.

Hem işçi arı fazında hem de gözcü arı fazında stokastik yapı kullanılarak oluşturulan stokastik beslemeli ABC algoritmasında yakınsama hızını artırmak için komşu çözüm üretme aşamasında tek komşu yerine birkaç komşu bilgisinin kullanıldığı bir komşuluk mekanizması kullanılmıştır. Sadece görevli arı aşamasında, sadece gözcü arı aşamasında ya da hem görevli arı hem de gözcü arı aşamalarında Eşitlik 10 kullanılması durumları ayrı ayrı incelenmiştir. Bu eşitlikte $r_1 \neq r_2 \neq i$ olarak varsayılmaktadır.

$$v_{ij} = \begin{cases} x_{r_1j} + F * (x_{ij} - x_{r_2j}) & R_j < MR \\ x_{ij} & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (10)$$

2.4. Stokastik Deb Kuralları Kullanan ABC Algoritması

İki çözüm arasında seleksiyon işleminde Deb [9] aşağıdaki kuralları önermiştir:

- Kabul edilebilir bölgedeki çözüm kabul edilebilir bölgede olmayan çözüme tercih edilir.
- İki kabul edilebilir çözüm arasında amaç fonksiyonu değeri daha iyi olan çözüm tercih edilir.
- İki kabul edilebilir olmayan çözüm arasında sınırlama aşım değeri daha küçük olan çözüm tercih edilir.

Sınırlamalı optimizasyon problemlerinin çözümü için Karaboğa ve Akay [10] tarafından ABC algoritmasının seleksiyon aşamasında Deb'in kuralları kullanılmıştır. Seleksiyon aşamasında Deb'in kuralları kullanıldığında popülasyona büyük oranda kabul edilebilir çözümler dahil olmuştur. Popülasyona farklılık (diversity) katılması amacıyla Deb'in kurallarına stokastiklik eklenmiştir. Dolayısıyla stokastiklik ve Deb'in kurallarının bir arada kullanıldığı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem DEB-SR-ABC olarak adlandırılmıştır. DEB-SR-ABC algoritmasının seleksiyon aşamasında Algoritma 3 kullanılır. Bu algoritma ile popülasyona çeşitlilik katılması amaçlanmıştır. Popülasyona sadece kabul edilebilir çözümlerin yerine kabul edilebilir olmayan çözümler P_f katsayısının etkisiyle dahil olur.

Algoritma 2. Stokastik besleme prosedürü

```

1. Mevcut çözümler dizisi ile komşu çözümler dizisini birleştir
2. for  $i = 1$  to  $SN * 2$  do
3.   for  $j = 1$  to  $SN * 2$  do
4.     if  $\phi_j = \phi_{j+1} = 0$  then
5.       if  $f_j > f_{j+1}$  then
6.         Yer değiştir ( $i, i + 1$ )
7.       end if
8.     end if
9.     if  $\phi_j > \phi_{j+1}$  then
10.      Yer değiştir ( $i, i + 1$ )
11.    end if
12.  end for
13. end for
14.  $SN$  tane çözümün bazılarını sıralı bazılarını rasgele seç

```

DEB-SR-ABC algoritmasının seleksiyon aşamasında kullanılan Algoritma 3 ile aşağıdaki kurallar önerilmektedir:

- Mevcut çözüm ve komşu çözümün her ikisi de kabul edilebilir bölgede ise veya rasgele üretilen random sayı P_f 'den küçükse amaç fonksiyonu değerine göre seçim yapılır.
- Mevcut çözüm kabul edilebilir bölgede değil ancak komşu çözümün kabul edilebilir bölgede olduğu durumda, random sayının P_f 'den küçük olması şartıyla komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri daha iyiye komşu çözüm seçilir. Komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri daha iyi olmadığı halde sınırlama aşım değeri daha küçükse yine komşu çözüm seçilir. Aksi durumda mevcut çözüm korunur.
- İki çözüm de kabul edilebilir bölgede değilse sınırlama aşım değeri daha küçük olan seçilir.

Algoritma 3. DEB-SR-ABC algoritmasının seleksiyon aşaması

```

1. if ( $violation_i \leq \text{and } violation_j \leq 0$ ) or  $random < P_f$  then
2.   if  $fitness_j > fitness_i$  then
3.     Komşu çözümü seç
4.   else
5.     Mevcut çözümü tut.
6.   end if
7. else
8.   if ( $violation_i > 0$  and  $violation_j \leq 0$ ) then
9.     if  $random < P_f$  then
10.      if  $fitness_j > fitness_i$  then
11.        Komşu çözümü seç
12.      end if
13.    else
14.      if  $violation_j < violation_i$  then
15.        Komşu çözümü seç
16.      else
17.        Mevcut çözümü tut.
18.      end if
19.    end if
20.  end if
21. else
22.   if ( $violation_i > 0$  and  $violation_j > 0$ ) then
23.     if  $violation_j < violation_i$  then
24.       Komşu çözümü seç
25.     else
26.       Mevcut çözümü tut.
27.     end if
28.   end if
29. end if

```

3. Bulgular

Bu bölümde bu çalışmada önerilen yeni yöntemlerle ilgili deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Öncelikle PEN-ABC, SR-ABC ve DEB-SR-ABC algoritmaları test problemleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Geliştirilen üç yöntem sonuçları literatürdeki stokastik sıralama (SR) metodu [5], geliştirilmiş stokastik sıralama (ISR) metodu [6], aşırı ceza yaklaşımı (OPA) [6], genetik algoritma (GA) [7], basit çok üyeli evrimsel strateji (SMES) [7], diferansiyel gelişim (DE) [10], parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması [8] ve ABC algoritması [10] ile karşılaştırılmıştır.

Algoritma, Visual Studio 2017'de C#.NET programlama dili ile kodlanmıştır. Deneyler Intel (R) Core (TM) i5-3210 M 2.5 GHz işlemci, 6 GB RAM ve Windows 10 işletim sistemi bulunan bilgisayar ile yapılmıştır.

3.1. Test Problemleri

Geliştirilen yöntemleri test etmek amacıyla Liang ve diğ. [15] tarafından önerilen literatürde sıklıkla kullanılan 13 sınırlamalı optimizasyon problemi kullanılmıştır. Her test probleminin temel özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Tablo 1'de D problemdeki değişken sayısı, "NI" nonlinear eşitsizlik sayısı, "LI" lineer eşitsizlik sayısı, "NE" nonlinear eşitlik sayısı ve "LE" ise lineer eşitlik sayısıdır. " α " aktif sınırlamaların sayısı ve " ρ " kabul edilebilir bölgenin yaklaşık alanıdır. $\rho = |F|/|S|$ şeklinde hesaplanır ve burada $|S|$ araştırma uzayı ve $|F|$ ise kabul edilebilir bölgedir. g05, g07 ve g13 problemlerinin kabul edilebilir bölge oranlar açısından çok dar bir alana sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan test problemlerinin karakteristikleri

Problem	Min./Max.	D	Problemin Türü	ρ	LI	NI	LE	NE	α
g01	Min.	13	Kuadratik	%0.0003	9	0	0	0	6
g02	Max.	20	Nonlinear	%99.9973	0	2	0	0	1
g03	Max.	10	Polinomial	%0.0026	0	0	0	1	1
g04	Min	5	Kuadratik	%27.0079	0	6	0	0	2
g05	Min	4	Kübik	%0.0000	2	0	0	3	3
g06	Min	2	Kübik	%0.0057	0	2	0	0	2
g07	Min	10	Kuadratik	%0.0000	3	5	0	0	6
g08	Max.	2	Nonlinear	%0.8581	0	2	0	0	0
g09	Min	7	Polinomial	%0.5199	0	4	0	0	2
g10	Min	8	Lineer	%0.0020	3	3	0	0	6
g11	Min	2	Kuadratik	%0.0973	0	0	0	1	1
g12	Max.	3	Kuadratik	%4.7697	0	1	0	0	0
g13	Min	5	Nonlinear	%0.0000	0	0	0	3	3

3.2. Kontrol Parametreleri ve Değerleri

Karaboğa ve Akay [10], deneysel çalışmalarında sabit parametre değerleri kullanmışlardır. Buna göre koloni büyüklüğü $SN = 40$, maksimum çevrim sayısı $MCN = 6000$, değişim oranı $MR = 0.8$, D probleme ait parametre sayısı olmak üzere $limit = 0.5 * SN * D$ ve $SPP = 0.5 * SN * D$ 'dir. Eşitlik sınırlamalarını eşitsizlik sınırlamalarına çevirirken kullanılan $\varepsilon = 0.001$ olarak işleme katılmıştır. Her bir deney rasgele popülasyonlarla 30 kez koşulmuştur.

PEN-ABC algoritmasını denerken r_g parametresinin beş farklı değeri için performans değerlendirmesi yapılmıştır. $r_g = \{1, 5, 10, 20, 50\}$ değerleri verilmiştir. SR-ABC algoritmasının ilk olarak performansı incelenmiştir. Sonrasında ise sınırlamaları aşan parametreler için ceza fonksiyonlarında olduğu gibi ihlal değerleri amaç fonksiyonuna eklenerek performansına bakılmıştır. Burada $r_g = 1$ alınmıştır. DE komşuluk mekanizması kullanılarak yapılan performans incelemesinde is F ölçekleme faktörü 0.8 olarak kabul edilmiştir. Yani toplamda üç farklı şekilde SR-ABC algoritması değerlendirilmiştir. DEB-SR-ABC algoritmasında ise temel ABC algoritmasındaki parametrelere ek olarak kullanılan P_f parametresi Runarsson ve Yao'nun [5] önerdiği şekilde $P_f = 0.45$ olarak verilmiştir.

SR [5], gelişimsel stratejide stokastik sıralama mantığına dayanan bir sınırlama ele alış metodu kullanmıştır. (30,200) – ES kullanılmıştır ve tüm koşmalar 1750 iterasyondan sonra durdurulmuştur. Böylelikle $200 \times 1750 = 350000$ amaç fonksiyonu değerlendirmesi yapılmış olur. Tüm eşitlik sınırlamalarını eşitsizlik sınırlamalarına çevirirken $|h_j| \in \varepsilon$ olmak üzere $\varepsilon = 0.0001$ seçilmiştir.

ISR [6], 875 iterasyon boyunca (60,400) – ES kullanmıştır. Dolayısıyla $400 \times 875 = 350000$ amaç fonksiyonu değerlendirilmiş olur. Burada SR'den farklı olarak adım büyüklüğünü ölçeklemek için γ kontrol parametresi kullanılmıştır. Adım büyüklüğündeki azalma yaklaşık 0.85'tir.

OPA [6], ceza yaklaşımına dayanan sınırlama ele alış metoduyla (60,400) – ES kullanmıştır. g12 hariç bütün koşmalar 875 iterasyon sonra durdurulmuştur. g12 ise 87 iterasyonda durdurulmuştur. Fonksiyonun değerlendirme sayısı toplamda $400 \times 875 = 350000$ 'dir.

GA [7], sınırlama ele alış metotlarından Deb'in kurallarını kullanmıştır. Eşitlik sınırlamalarını eşitsizlik sınırlamalarına çevirirken ε değeri dinamik olarak belirlenir. Koloni büyüklüğü 200, maksimum iterasyon sayısı 1200, çaprazlama oranı 0.8 ve değişim oranı 0.6'dır. Toplamda $200 \times 1200 = 240000$ amaç fonksiyonu değerlendirmesi yapılmıştır.

SMES [7], (100,300) – ES ve sınırlamaları ele almak için Deb'in kurallarını kullanır. İterasyon sayısı 800'dür. Toplam amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı $300 \times 800 = 240000$ 'dir.

DE algoritması [10], sınırlamaları ele almak için Deb'in kurallarını kullanmıştır. Koloni büyüklüğü 40, çaprazlama oranı (CR) 0.9, ölçekleme faktörü (F) 0.5 ve maksimum iterasyon sayısı 6000'dir. Dolayısıyla amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı $40 \times 6000 = 240000$ 'dir.

PSO algoritması [8], sınırlamaları ele alış metotlarından Deb'in kurallarını kullanır. Sürü (popülasyon) büyüklüğü 50 ve iterasyon sayısı 7000'dir. Toplamda amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı $50 \times 7000 = 350000$ 'dir. Sosyal ve bilişsel bileşenlerin her ikisi de 1 olarak alınmıştır. Eylemsizlik ağırlığı (inertia weight) $[0.5 - 1]$ aralığında uniform dağılmış rasgele bir reel sayıdır. Eşitlik sınırlamalarını eşitsizlik sınırlamalarına çevirirken $|h_j| \in \varepsilon$ 'de kullanılan $\varepsilon = 0.001$ 'dir.

ABC algoritması [10], sınırlamaları ele alırken Deb'in kurallarını kullanmıştır. Koloni büyüklüğü (SN) 40 değişim oranı (MR) 0.8, maksimum çevrim sayısı (MCN) 6000'dir. D probleme ait parametre sayısı olmak üzere $limit = 0.5 * SN * D$ ve $SPP = 0.5 * SN * D$ 'dir. Amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı $40 \times 6000 = 240000$ 'dir. Deneyler rasgele popülasyonlarla 30 kez tekrarlanmıştır.

3.3. İstatistiksel Sonuçlar

Sınırlamalı optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen yöntemler literatürdeki diğer algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Tablo 2 ve Tablo 3'te problemler için elde edilen en iyi değerler ve ortalama değerler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Her bir problem için bulunan en iyi sonuç koyu olarak yazılmıştır. Tablolarda yer alan NA kabul edilebilir çözüm bulunamayan değerleri göstermektedir.

PEN-ABC algoritmasının r_g parametresinin farklı değerleriyle 30 koşma sonucunda bulunan sonuçları tablolarda sunulmuştur. Stokastik beslemeli ABC algoritması yedi farklı şekilde incelenmiştir. Sadece işçi arı fazına stokastik yapı entegre edilerek (Employed-SR), sadece gözcü arı fazına stokastik yapı entegre edilerek (Onlooker-SR), hem işçi arı hem de gözcü arı fazına stokastik yapı entegre edilerek (Employed-Onlooker-SR) ve hem işçi arı hem de gözcü arı fazına stokastik yapı entegre edilmesine ek olarak sınırlama aşım değerlerinin de amaç fonksiyonuna eklenme işlemi uygulanarak (Employed-Onlooker-SR/rg) analizler yapılmıştır. Ayrıca ABC algoritmasının işçi ve gözcü arı fazlarında stokastik yapı kullanılmasına ek olarak komşu çözüm üretme aşamasında DE algoritmasının komşu üretme mekanizması kullanılarak üç yöntem daha denenmiştir. Burada DE komşu üretme mekanizması sadece işçi arı fazında kullanıldığında (Employed-DE), sadece gözcü arı fazında kullanıldığında (Onlooker-DE) ve hem işçi arı hem de gözcü arı fazında kullanıldığında (Employed-onlooker-DE) elde edilen sonuçlar incelenmiştir. DEB-SR-ABC algoritması ile 30 koşma sonucu elde edilen sonuçlar da tablonun sonuna eklenmiştir.

Tablo 2. SR, ISR, OPA, GA, SMES, PSO, DE, ABC, PEN-ABC, SR-ABC ve DEB-SR-ABC algoritmalarının 13 test fonksiyonu için elde edilen sonuçların en iyi değerleri. (-) kabul edilebilir çözümün bulunamadığı anlamına gelir.

Yöntem	g01	g02	g03	g04	g05	g06	g07	g08	g09	g10	g11	g12	g13
Optimal	-15.000	0.803619	1.000	-30665.539	5126.498	-6961.814	24.306	0.095825	680.630	7049.225	0.75	1.000	0.053950
SR	-15.000	0.803515	1.000	-30665.539	5126.497	-6961.814	24.307	0.095825	680.630	7054.316	0.750	1.000	0.053957
ISR	-15.000	0.803619	1.001	-30665.539	5126.497	-6961.814	24.306	0.095825	680.630	7049.248	0.750	1.000	0.053942
OPA	-15.000	0.803619	0.747	-30665.539	5126.497	-6961.814	24.306	0.095825	680.630	7049.248	0.750	1.000	0.447118
GA	-14.440	0.796231	0.990	-30626.053	-	-6952.472	31.097	0.095825	685.994	9079.770	0.75	1.000	0.134057
SMES	-15.000	0.803601	1.000	-30665.539	5126.599	-6961.814	24.327	0.095825	680.632	7051.903	0.75	1.000	0.053986
PSO	-15.000	0.669158	0.993930	-30665.539	5126.484	-6961.814	24.370153	0.095825	680.630	7049.381	0.749	1.000	0.085655
DE	-15.000	0.472	1.000	-30665.539	5126.484	-6954.434	24.306	0.095825	680.630	7049.248	0.752	1.000	0.385
ABC	-15.000	0.803598	1.000	-30665.539	5126.484	-6961.814	24.330	0.095825	680.634	7053.904	0.750	1.000	0.760
rg=1 (PEN-ABC)	-14.414	0.802638	0.8830	-30135.576	5121.079	-7950.263	25.4577	0.095823	680.807	2101.46	0.739	1.000	0.05611
rg=5 (PEN-ABC)	-14.915	0.803602	0.3604	-30127.391	5129.407	-7781.586	24.7538	0.095825	680.653	2107.29	0.747	1.000	0.09534
rg=10 (PEN-ABC)	-14.920	0.803607	0.7294	-30241.728	5126.855	-7848.131	24.5334	0.095825	680.640	2114.81	0.748	1.000	0.14488
rg=20 (PEN-ABC)	-14.969	0.803591	0.8244	-30466.900	5126.534	-7464.222	24.4382	0.095825	680.633	2128.76	0.749	1.000	0.40804
rg=50 (PEN-ABC)	-14.986	0.803599	0.9752	-30459.850	5126.528	-6827.402	24.3659	0.095825	680.633	2171.19	0.749	1.000	0.56397
Employed-SR	-15.000	0.781265	0.9960	-30665.539	5133.786	-6961.814	24.6819	0.095825	680.655	7146.448	0.750	1.000	0.27329
Onlooker-SR	-14.999	0.794766	0.9611	-30665.539	5127.795	-6961.814	25.1593	0.095825	680.677	7931.900	0.750	1.000	0.06732
Emp-Onl-SR	-14.999	0.788303	1.0032	-30665.539	5128.492	-7950.961	24.6205	0.095825	680.681	7113.398	0.750	1.000	0.38624
Emp-Onl-SR/rg	-14.999	0.791442	0.9998	-30665.539	5127.042	-7950.205	24.7066	0.095825	680.656	7062.924	0.750	1.000	0.56700
Emp-DE (SR)	-14.988	0.599782	0.5547	-30665.291	5129.668	-7950.962	319.284	0.095825	682.563	7794.773	0.750	0.999	0.50870
Onl-DE (SR)	-14.999	0.691965	0.6394	-30665.480	5139.132	-7973	300.470	0.095825	681.994	8046.979	0.750	0.999	0.46625
Emp-Onl-DE (SR)	-14.971	0.617807	0.3250	-30665.006	5167.000	-7950.963	410.585	0.095825	688.752	8269.454	0.750	0.999	0.26848
DEB-SR-ABC	-15.000	0.803591	1.004	-30665.539	4986.987	-7661.009	243.438	0.095825	680.633	2100	0.749	1.000	0.057301

Tablo 3. SR, ISR, OPA, GA, SMES, PSO, DE, ABC, PEN-ABC, SR-ABC ve DEB-SR-ABC algoritmalarının 13 test fonksiyonu için elde edilen sonuçların ortalamaya değerleri. (-) kabul edilebilir çözümün bulunamadığı anlamına gelir.

Yöntem	g01	g02	g03	g04	g05	g06	g07	g08	g09	g10	g11	g12	g13
Optimal	-15.000	0.803619	1.000	-30665.539	5126.498	-6961.814	24.306	0.095825	680.630	7049.25	0.75	1.000	0.053950
SR	-15.000	0.781975	1.000	-30665.539	5128.881	-6875.940	24.374	0.095825	680.656	7559.192	0.750	1.000	0.057006
ISR	-15.000	0.782725	1.001	-30665.539	5126.497	-6961.814	24.306	0.095825	680.630	7049.250	0.750	1.000	0.066770
OPA	-15.000	0.776283	0.257	-30665.539	5268.610	-6961.814	24.307	0.095825	680.630	7049.248	0.755	0.999889	0.964323
GA	-14.236	0.788588	0.976	-30590.455	-	-6872.204	34.980	0.095799	692.064	10003.225	0.75	1.000	-
SMES	-15.000	0.785238	1.000	-30665.539	5174.492	-6961.284	24.475	0.095825	680.643	7253.047	0.75	1.000	0.166385
PSO	-14.710	0.419960	0.764813	-30665.539	5135.973	-6961.814	32.407	0.095825	680.630	7205.5	0.749	0.998875	0.569358
DE	-14.555	0.665	1.000	-30665.539	5264.270	-	24.310	0.095825	680.630	7147.334	0.901	1.000	0.872
ABC	-15.000	0.792412	1.000	-30665.539	5185.714	-6961.813	24.473	0.095825	680.640	7224.407	0.750	1.000	0.968
rg=1 (PEN-ABC)	-12.120	0.787720	0.0082	-29267.342	5189.360	-5840.023	31.673	0.094926	680.915	11098.665	0.927	1.000	0.45962
rg=5 (PEN-ABC)	-14.604	0.789204	0.0240	-29210.471	5305.625	-4984.099	25.546	0.095629	680.693	8166.607	0.852	1.000	0.79161
rg=10 (PEN-ABC)	-14.794	0.791964	0.1141	-29388.250	5312.793	-5515.717	25.007	0.095783	680.655	9386.364	0.783	1.000	0.75960
rg=20 (PEN-ABC)	-14.858	0.786921	0.2189	-29385.895	5201.197	-5149.604	24.767	0.095799	680.648	8098.925	0.749	1.000	0.83561
rg=50 (PEN-ABC)	-14.948	0.793056	0.6737	-29337.438	5316.717	-5523.459	24.591	0.095629	680.642	9044.092	0.749	1.000	0.88431
Employed-SR	-13.766	0.721954	0.7576	-30635.714	5495.967	-6961.814	29.3491	0.095825	680.755	7820.773	0.75	1.000	1.24207
Onlooker-SR	-13.099	0.717791	0.6143	-30665.539	5913.843	-6961.814	27.2965	0.095825	680.958	10464.995	0.753	1.000	0.69821
Emp-Onl-SR	-12.679	0.623135	0.4954	-30653.502	5451.812	-6992.820	57.0992	0.095825	681.416	10395.296	0.832	0.999	0.92376
Emp-Onl-SR/rg	-11.916	0.621560	0.6898	-30662.664	5616.404	-7027.668	98.4280	0.095825	681.630	10620.716	0.776	0.999	1.04602
Emp-DE (SR)	-10.399	0.466272	0.0525	-30632.953	5580.917	-6891.767	315.393	0.095824	1017.019	12152.608	0.840	0.999	1.50786
Onl-DE (SR)	-11.631	0.487656	0.0734	-30588.714	5656.963	-6980.580	483.881	0.095825	1014.704	11304.605	0.824	0.999	1.73945
Emp-Onl-DE (SR)	-10.719	0.432700	0.0108	-30661.255	5701.441	-6440.205	376.612	0.095817	1033.509	14177.442	0.832	0.999	1.21924
DEB-SR-ABC	-15.000	0.791671	1.002	-30665.539	5559.641	-6344.100	24.513	0.095825	680.641	11091.682	0.75	1.000	0.59645

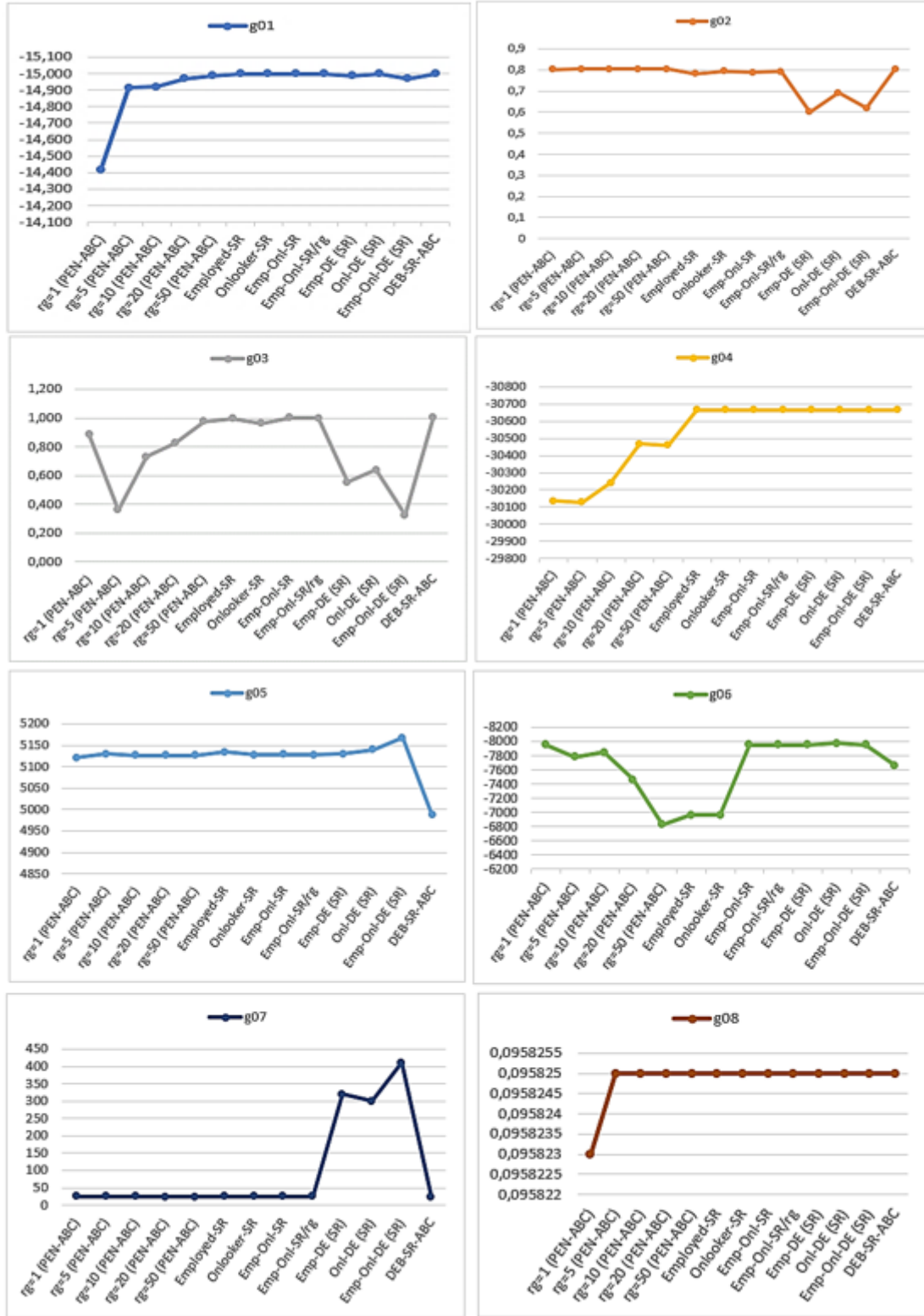
PEN-ABC algoritmasının Tablo 2 ve Tablo 3'te sunulan sonuçlarına göre her bir problem üzerinde karşılaştırma yapılmıştır. g01 probleminde optimal değer bulunamasa da ortalama değerler incelendiğinde GA, PSO ve DE algoritmalarından daha iyi olduğu söylenebilir. g02 probleminde optimal değere ulaşılmasa da r_g 'nin tüm değerlerinde GA, PSO ve DE algoritmalarından daha iyi sonuç alınmıştır. $r_g = \{5, 10\}$ iken SR, SMES ve ABC algoritmalarından daha iyidir. Ortalama değerlere bakıldığında r_g parametresi arttıkça ortalama iyileşmiş ve diğer algoritmalarından daha iyi bir değere ulaşmıştır. g03 probleminde $r_g = 50$ iken diğer r_g değerlerinden daha iyi sonuç almış ancak optimale ulaşamamıştır. Hem en iyi sonucuyla hem de ortalama sonucuyla sadece OPA'dan daha iyidir. PEN-ABC algoritması g04 probleminde performans diğer algoritmaların gerisinde kalmıştır. g05 probleminde SMES, PSO, DE ve ABC algoritmalarıyla en iyi sonuçlara göre benzer sonuçlar alınmıştır. Ortalama sonuçlara göre OPA ve DE algoritmalarından daha iyidir. GA'dan ise daha iyi bir performansa sahiptir. g06 probleminde diğer algoritmalarından düşük performansa sahiptir. $r_g = 50$ parametresiyle PEN-ABC algoritması g07 probleminde en iyi sonucunu elde etmiş ve GA ve PSO algoritmalarından daha iyi sonuç almıştır ve ortalama sonuçlar da daha başarılıdır. g08 probleminde diğer algoritmalar gibi optimal değere ulaşmıştır. g09 probleminde $r_g = 20$ ve $r_g = 50$ değerleriyle optimale en yakın sonuç elde edilmiştir ve bu sonuçlarla GA'dan daha iyi, SMES ve ABC algoritması ile yakın performans göstermiştir. g10 probleminde diğer algoritmalarından daha kötü sonuçlar alınmıştır. g11 probleminde $r_g = \{20, 50\}$ iken optimal değer bulunmuş ve diğer algoritmalarla (DE algoritması hariç) benzer performans göstermiştir. Ortalama değerler incelendiğinde DE algoritmasından daha iyidir. g12 probleminde optimal değer bulunmuş ve diğer algoritmalarla benzer performans göstermiştir. g13 probleminde $r_g = 1$ parametresiyle en iyi sonucunu bulmuştur ve bu sonuçla OPA, GA, PSO, DE ve ABC algoritmalarından daha iyidir.

SR-ABC algoritmasının Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen sonuçlarına göre her bir problem için yöntemlerin performansına göre karşılaştırma yapılmıştır. g01 probleminde Employed-SR optimal değeri bulurken diğerleri optimale yakın değer bulmuştur. Ancak ortalama değerler incelendiğinde SR-ABC algoritmasının diğer algoritmalarla göre daha düşük bir performansa sahip olduğu görülmektedir. g02 probleminde en iyi sonuçlar Onlooker-SR ve Employed-Onlooker-SR/ r_g yöntemleriyle alınmıştır. Bu sonuçlar ile sadece PSO ve DE algoritmalarından performans olarak üsttedir. g03 probleminde Employed-SR, Employed-Onlooker-SR ve Employed-Onlooker-SR/ r_g yöntemleri optimale yakın sonuçlar bularak OPA, GA ve PSO algoritmalarından daha iyi performans göstermiştir. Bu problemde ortalama ve standart sapma değerlerine bakıldığında kararsız yapıda olduğu söylenebilir. g04 probleminde Employed-SR, Onlooker-SR, Employed-Onlooker-SR ve Employed-Onlooker-SR/ r_g yöntemleriyle optimal değer yakalanmıştır. Diğer algoritmalarla (GA hariç) benzer performans gösterildiği söylenebilir. g05 probleminde Onlooker-SR, Employed-Onlooker-SR ve Employed-Onlooker-SR/ r_g yöntemleriyle optimale yakın sonuçlar alınmıştır. Ancak diğer algoritmalarla nazaran (GA hariç) daha düşük performansa sahiptirler. g06 probleminde Employed-SR ve Onlooker-SR yöntemleri optimal değere ulaşmıştır. GA ve DE algoritmaları hariç diğer algoritmalarla benzer performans elde edilmiştir. g07 probleminde Employed-SR, Employed-Onlooker-SR ve Employed-Onlooker-SR/ r_g yöntemleri optimale en yakın sonuçlar elde ederek sadece GA'dan iyi performans göstermiştir. g08 probleminde tüm yöntemlerle optimale ulaşarak diğer algoritmalarla benzer performans elde edilmiştir. g09 probleminde Employed-SR, Onlooker-SR, Employed-Onlooker-SR ve Employed-Onlooker-SR/ r_g yöntemleri optimale yakın değerler bulmuştur. Ancak diğer algoritmalar (GA haricinde) kadar başarılı değildir. g10 probleminde Employed-Onlooker-SR/ r_g yöntemi optimale en yakın değer bulmuştur. Sadece GA'dan daha iyi sonuç alınmıştır. g11 ve g12 problemlerinde optimal değere ulaşılmıştır ve tüm yöntemlerin diğer algoritmalarla benzer performansa sahip olduğu söylenebilir. g13 probleminde ise Onlooker-SR yöntemi ile optimale daha yakın sonuç alınmıştır ve bu sonuçla OPA, GA, PSO ve DE algoritmalarından daha iyidir. Genel itibarıyla SR-ABC algoritmasında uygulanan yöntemlerden Employed-SR, Onlooker-SR, Employed-Onlooker-SR ve Employed-Onlooker-SR/ r_g optimal/optimale yakın değere ulaşmış ve literatürdeki diğer algoritmalarla yakın sonuçlar elde etmiştir.

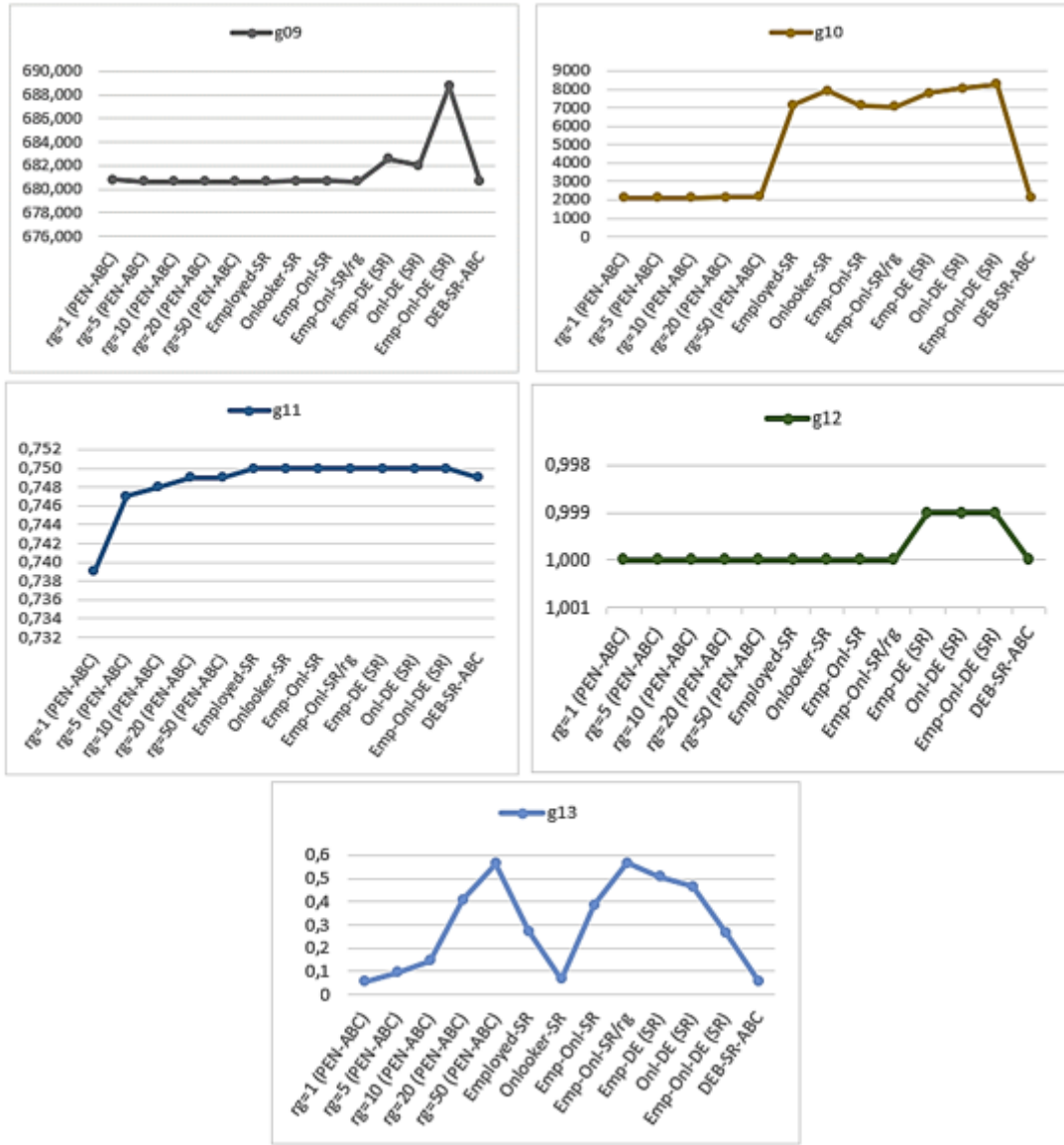
Sunulan sonuçlara göre DEB-SR-ABC algoritmasının optimale daha yakın sonuçlar elde ettiği görülmektedir. DEB-SR-ABC algoritması g01 probleminde optimalı bulup diğer algoritmalarla benzer performans göstermiştir. En iyi sonuca göre sadece GA'dan daha iyiyken ortalama sonuçlara bakıldığında GA, PSO ve DE algoritmalarından daha iyidir. g02 probleminde optimale çok yakın sonuç bularak DE ve PSO algoritmalarından daha iyi sonuç alırken diğer algoritmalarla benzerdir. g03 probleminde optimal değer bulunup yalnız OPA'dan üst bir performans göstermiştir, diğerleriyle ise benzerdir. g04 probleminde optimal değer bulunarak diğer algoritmalarla (GA hariç) benzer performans elde edilmiştir. g05 ve g06 problemlerinde diğer algoritmalarından düşük performans göstermiştir. g07 probleminde optimale yakın sonuç alınmıştır. GA'dan iyi, SMES, PSO ve ABC ile benzerdir. g08 probleminde diğer algoritmalarla olduğu gibi optimal değer bulunmuştur. g09 probleminde optimale çok yakın sonuç bulunmuştur ve diğer algoritmalarla (GA hariç) performans olarak yakındır. DEB-SR-ABC algoritması g10 probleminde optimalden uzak sonuç alarak diğer algoritmalarından düşük performans göstermiştir. g11 ve g12 problemlerinde optimal değer bulunmuş ve diğer algoritmalarla benzer performans

göstermiştir. g13 probleminde DEB-SR-ABC algoritması optimal değeri bulamasa da OPA, GA, PSO, DE ve ABC algoritmalarından iyi performansa sahiptir.

Şekil 1 ve Şekil 2’de 13 test problemi için bulunan en iyi sonuçların grafikleri sunulmuştur. Grafiklerde x-ekseni denenen yöntemi, y-ekseni ise elde edilen sonucu göstermektedir.



Şekil 1. g01-g08 problemleri için bulunan en iyi sonuçların grafikleri



Şekil 2. g09-g13 problemleri için bulunan en iyi sonuçların grafikleri

4. Tartışma ve Sonuç

Tablo 4'te literatürde sıklıkla kullanılan 13 test probleminin çözümünde üç yöntem (PEN-ABC, SR-ABC ve DEB-SR-ABC) arasından en iyi sonuca ulaşan yöntemler listelenmiştir. Bu çizelgede PEN-ABC algoritması için hangi parametre (r_g) değeriyle en iyi sonuca ulaştığı, SR-ABC algoritması için kullanılan hangi yöntemle en iyi sonuca ulaştığı ve DEB-SR-ABC algoritmasında ise ulaşılan sonuç bilgisi yer almaktadır. g01 probleminin çözümü için Employed-SR ve DEB-SR-ABC yöntemleri kullanılabilir. g02 probleminin çözümü için PEN-ABC ($r_g = \{5,10,50\}$) ve DEB-SR-ABC yöntemi kullanılabilir. g03 problemi Employed-Onlooker-SR, Employed-Onlooker-SR/ r_g ve DEB-SR-ABC yöntemleri ile çözülebilir. g04 problemi Employed-SR, Onlooker-SR, Employed-Onlooker-SR, Employed-Onlooker-SR/ r_g ve DEB-SR-ABC yöntemleri ile çözülebilir. g05 probleminde PEN-ABC ($r_g = \{10,20,50\}$) yöntemiyle optimale yakın sonuç alınabilir. g06 probleminde optimale ulaşan yöntemler Employed-SR ve Onlooker-SR'dir. g07 problemi optimale en yakın değer bulan PEN-ABC ($r_g = 50$) ve DEB-SR-ABC yöntemleri ile çözülebilir. g08 probleminde üç algoritma (PEN-ABC, SR-ABC ve DEB-SR-ABC) ile çözüme ulaşılabilir. g09 probleminin çözümünde PEN-ABC ($r_g = \{20,50\}$) ve DEB-SR-ABC yöntemleri uygulanabilir. g10 probleminde yalnızca Employed-Onlooker-SR/ r_g yöntemiyle optimale yakın sonuç alınabilir. g11 ve g12 problemlerinde üç algoritma ile optimal/optimale yakın değere ulaşılmıştır. g13 probleminde PEN-ABC ($r_g = 1$) ve DEB-SR-ABC yöntemleriyle optimale yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4. Problemlerin çözümünde en iyi sonuca ulaşan yöntemler

Fonksiyon / Optimal	PEN-ABC		SR-ABC		DEB-SR-ABC	
	En iyi sonuç (yöntem)	Ortalama $\pm$ std. sapma	En iyi sonuç (yöntem)	Ortalama $\pm$ std. sapma	En iyi sonuç	Ortalama $\pm$ std. sapma
g01 -15.000	-14.986 (rg=50)	-14.948 $\pm$ 0.023	-15.000 (Employed-SR)	-13.766 $\pm$ 1.546	-15.000	-15.000 $\pm$ 0
g02 0.803619	0.803607 (rg=10)	0.791964 $\pm$ 0.014	0.794766 (Onlooker-SR)	0.717791 $\pm$ 0.098	0.8035917	0.7916718 $\pm$ 0.010
g03 1	0.9752 (rg=50)	0.6737 $\pm$ 0.236	0.9998 (Employed-Onlooker-SR/rg)	0.6898 $\pm$ 0.461	1.004	1.002 $\pm$ 0.003
g04 -30665.539	-30459.850 (rg=50)	-29337.438 $\pm$ 536.312	-30665.539 (Onlooker-SR)	-30665.539 $\pm$ 0.0007	-30665.539	-30665.539 $\pm$ 0
g05 5126.4981	5126.5284 (rg=50)	5316.7171 $\pm$ 247.537	5127.0429 (Employed-Onlooker-SR/rg)	5616.4044 $\pm$ 938.696	4986.8712	5559.6410 $\pm$ 494.511
g06 -6961.81388	- 6827.40219 (rg=50)	-5523.45991 $\pm$ 1223.779	-6961.81388 (Employed-SR/Onlooker-SR)	-6961.81388 $\pm$ 0	- 7661.00942	- 6344.10005 $\pm$ 1063.805
g07 24.3062091	24.3659 (rg=50)	24.5919 $\pm$ 0.194	24.620 (Employed-Onlooker-SR)	24.620 $\pm$ 92.996	24.343841	24.513237 $\pm$ 0.190
g08 0.095825	0.095825 (rg=20)	0.095799 $\pm$ 0	0.095825 (Tüm yöntemler)	0.095825 $\pm$ 0	0.095825	0.095825 $\pm$ 0
g09 680.6300573	680.633721 (rg=20)	680.648 $\pm$ 0.009	680.655 (Employed-SR/rg)	680.755 $\pm$ 0.064	680.633	680.641 $\pm$ 0.004
g10 7049.25	2128.763 (rg=20)	8098.9257 $\pm$ 7409.291	7062.924 (Employed-Onlooker-SR/rg)	10620.716 $\pm$ 3942.388	2100	11091.6829 $\pm$ 6517.06
g11 0.75	0.749 (rg=20.50)	0.749 $\pm$ 0.0004	0.750 (Employed-SR)	0.750 $\pm$ 0	0.749	0.750 $\pm$ 0.006
g12 1	1.000 (Tüm yöntemler)	1.000 $\pm$ 0	1.000 (Tüm yöntemler)	1.000 $\pm$ 0	1.000	1.000 $\pm$ 0
g13 0.0539498	0.05611 (rg=1)	0.45962 $\pm$ 0.386	0.06732 (Onlooker -SR)	0.69821 $\pm$ 0.271	0.05730	0.59645 $\pm$ 0.365

Bu çalışmada sınırlamalı optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla üç yöntem (PEN-ABC, SR-ABC ve DEB-SR-ABC) önerilmiştir. Standart ABC algoritmasına sınırlama ele alış metotlarının entegre edilmesiyle geliştirilen bu yöntemlerin 13 test problemi üzerindeki performansı incelenmiştir. Problem bazında en iyi sonucu bulan yöntem/yöntemler belirlenmiştir. PEN-ABC algoritmasında farklı r_g parametrelerinin sonuca etkisi incelenmiş ve r_g parametresinin artmasıyla genel olarak sonucun daha iyileştiği görülmüştür. Stokastik beslemeli ABC algoritmasında (SR-ABC) stokastik yapı ABC algoritmasının farklı fazlarında denenmiştir ve sadece işçi arı fazına stokastik yapı entegre edilerek (Employed-SR), sadece gözcü arı fazına stokastik yapı entegre edilerek (Onlooker-SR), hem işçi arı hem de gözcü arı fazlarına stokastik yapı entegre edildiğinde (Employed-onlooker-SR) ve ihlal değerleri amaç fonksiyonuna dahil edildiğinde (Employed-Onlooker-SR/rg) daha iyi sonuç alındığı görülmüştür. DEB-SR-ABC algoritmasında, Deb'in kurallarını kullanan ABC algoritmasına ek olarak stokastik yapı entegre edilerek popülasyona çeşitlilik katılması amaçlanmış ancak stokastik yapının entegre edilmesiyle bazı problemlerde daha iyi sonuç alınsa da genel itibarıyla Deb'in kurallarını kullanan ABC kadar başarılı olamamıştır. Bu da kaşif arı biriminin yeterince farklılık kattığı sonucuna götürmüştür. Önerilen yöntemler literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarıyla, literatürde sıklıkla kullanılan 13 test problemi üzerinden karşılaştırılmıştır. Yapılan istatistiksel sonuçlar incelendiğinde diğer algoritmalar ile benzer performans gösterdiği söylenebilir.

Kaynakça

- [1] Parsopoulos, K. E., Vrahatis, M. N., 2002, "Particle swarm optimization method for constrained optimization problems", *Intelligent Technologies–Theory and Application: New Trends in Intelligent Technologies*, Vol. 76, No. 1, pp. 214-220.
- [2] Huang, Z., Wang, C. and Tian, H., 2009, "A genetic algorithm with constrained sorting method for constrained optimization problems", 2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent System, Vol. 1, pp. 806-811, IEEE.

- [3] Lu, H. and Chen, W., 2008, "Self-adaptive velocity particle swarm optimization for solving constrained optimization problems", *Journal of Global Optimization*, Vol. 41, No. 3, pp.427-445.
- [4] Michalewicz, Z. and Schoenauer, M., 1996, "Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems", *Evolutionary computation*, Vol. 4, No. 1, pp.1-32
- [5] Runarsson, T.P. and Yao, X., 2000, "Stochastic ranking for constrained evolutionary optimization", *IEEE Transactions on evolutionary computation*, Vol. 4, No. 3, pp.284-294.
- [6] Runarsson, T.P. and Yao, X., 2005, "Search biases in constrained evolutionary optimization", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, Vol. 35, No. 2, pp.233-243.
- [7] Mezura-Montes, E. and Coello, C.A.C., 2005, "A simple multimembered evolution strategy to solve constrained optimization problems", *IEEE Transactions on Evolutionary computation*, Vol. 9, No. 1, pp.1-17.
- [8] Muñoz Zavala, A.E., Aguirre, A.H. and Villa Diharce, E.R., 2005, June, "Constrained optimization via particle evolutionary swarm optimization algorithm (PESO)", In *Proceedings of the 7th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, pp. 209-216, ACM.
- [9] Deb, K., 2000, "An efficient constraint handling method for genetic algorithms", *Computer methods in applied mechanics and engineering*, Vol. 186, No. 2-4, pp.311-338.
- [10] Karaboga, D. and Akay, B., 2011, "A modified artificial bee colony (ABC) algorithm for constrained optimization problems", *Applied soft computing*, Vol. 11, No. 3, pp.3021-3031.
- [11] Karaboga, D., 2005, "An idea based on honey bee swarm for numerical optimization", Vol. 200, Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department.
- [12] Coello, C.A.C., 2002, "Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art", *Computer methods in applied mechanics and engineering*, Vol. 191, No. 11-12, pp.1245-1287.
- [13] Akay, B., 2009, *Nümerik optimizasyon problemlerinde yapay arı kolonisi (artificial bee colony) algoritmasının performans analizi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.*
- [14] Karaboga, D. and Basturk, B., 2007, June, "Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems", In *International fuzzy systems association world congress*, pp. 789-798, Springer, Berlin, Heidelberg.
- [15] Liang, J.J., Runarsson, T.P., Mezura-Montes, E., Clerc, M., Suganthan, P.N., Coello, C.C. and Deb, K., 2006, "Problem definitions and evaluation criteria for the CEC 2006 special session on constrained real-parameter optimization", *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 41, No. 8, pp.8-31.

Mean Square Error Performance of the Modified Jackknifed Ridge Predictors in the Linear Mixed Models

Özge Kuran^{1*} 

¹Dicle University Faculty of Science Department of Statistics, DİYARBAKIR

(Alınış / Received: 19.03.2020, Kabul / Accepted: 11.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Keywords

Jackknifed ridge predictors,
Linear mixed models,
Modified jackknifed
ridge predictors,
Multicollinearity.

Abstract: The goal of this study is to introduce the modified jackknifed ridge prediction method in the linear mixed models. Then, the matrix mean square error (MMSE) comparisons are done. Finally, a real data analysis is given to observe the behavior of the modified jackknifed ridge predictors.

Lineer Karma Modellerde Modified Jackknifed Ridge Ön Tahmin Edicilerin Hata Kareler Ortalaması Performansı

Anahtar Kelimeler

Jackknifed ridge ön tahmin
ediciler,
Lineer karma modeller,
Modified jackknifed ridge ön
tahmin ediciler,
Çoklu iç ilişki.

Özet: Bu çalışmanın amacı, lineer karma modellerde modified jackknifed ridge ön tahmin metodunu tanımlamaktır. Daha sonra, matris hata kare ortalamasına (MMSE) göre karşılaştırmalar yapmaktır. Son olarak, modified jackknifed ridge ön tahmin edicilerin davranışlarını gözlemlemek amacıyla gerçek bir veri analizi çalışması verilmiştir.

*İlgili Yazar, email: ozge.kuran@dicle.edu.tr

1. Introduction

Linear mixed models (see [1]; [2]) have been broadly employed for longitudinal-repeated measurements data, clustered data and multilevel data. (see [3]; [4]; [5]; [6]).

Linear mixed models are the following form

$$y = X\beta + Zu + \varepsilon \quad (1)$$

where y is an $n \times 1$ vector of responses, X is an $n \times p$ known design matrix for the fixed effects, β is a $p \times 1$ parameter vector of fixed effects, Z is an $n \times q$ known design matrix for the random effects, u is a $q \times 1$ vector of random effects and ε is an $n \times 1$ vector of random errors. It is where G, W are known positive definite (pd) matrices. Then, $var(y) = \sigma^2 H$ where $H = ZGZ' + W$.

The estimator of β and the predictor of u are derived from [7] and [8] as

$$\hat{\beta} = (X'H^{-1}X)^{-1}X'H^{-1}y \quad (2)$$

$$\hat{u} = GZ'H^{-1}(y - X\hat{\beta})$$

where $\hat{\beta}$ is named as the best linear unbiased estimator (BLUE) and $\hat{u}$ is named as the best linear unbiased predictor (BLUP).

Multicollinearity is a widely occurring and potentially serious problem that can be defined as near-linear dependence among the variable of the design matrix of the fixed effects. On account of multicollinearity, some serious problems can be arised. For example, interpretation, in validation, and analysis of the model, like

unreasonable sign, unstable estimates, high-standard errors, and so on. To overcome from these problems, some procedures were advanced.

The ridge estimator which is suggested by [9] in linear regression model is the most popular one. But, since ridge estimator may handle substantial amount of bias, [10] recommended the jackknifed estimator that had both smaller bias and mean square error than the ridge estimator under some conditions. Jackknifed styles of ridge estimator and some other distincts are investigated in the linear regression models; see [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22] and [23].

[24] and [25] were suggested the ridge estimator and predictor as

$$\hat{\beta}(k) = (X'H^{-1}X + kI_p)^{-1}X'H^{-1}y \quad (3)$$

$$\hat{u}(k) = GZ'H^{-1}(y - X\hat{\beta}(k))$$

where $k > 0$ is known as the biasing parameter.

Additionally, [26] defined the jackknifed ridge estimator and predictor as

$$\begin{aligned} \tilde{\beta}(k) &= [I_p \\ &- k^2(X'H^{-1}X + kI_p)^{-2}] \hat{\beta} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\tilde{u}(k) = GZ'H^{-1}(y - X\tilde{\beta}(k))$$

where $\hat{\beta}$ is the BLUE given by Eq. (2).

In this article, modified jackknifed ridge estimator and predictor are introduced in linear mixed models. And then, our study can explain as follows. After new estimator and predictor are suggested, the matrix mean square error (MMSE) comparisons are made in Section 2. In Section 3, the estimation of the biasing parameters are investigated. Greenhouse gases data analysis is constructed in Section 4 and conclusions are given in Section 5.

2. Some Comparisons

In this section, before comparisons are done, the modified jackknifed ridge predictors in the linear mixed models are introduced by using [26]. The proposed predictors are designated as the modified jackknifed ridge estimator and the modified jackknifed ridge predictor, respectively, as

$$\tilde{\beta}_m(k) = [I_p - k^2(X'H^{-1}X + kI_p)^{-2}] \hat{\beta}(k)$$

$$\tilde{u}_m(k) = GZ'H^{-1}(y - X\tilde{\beta}_m(k))$$

where $\hat{\beta}(k)$ is the ridge estimator given by Eq. (3).

Prediction of linear combinations of β and u can be inferred as $\mu = L'\beta + M'u$ for specific matrices $L \in \mathbb{R}^{p \times s}$ and $M \in \mathbb{R}^{q \times s}$ (see [27]; [28]; [29] for $s = 1$). Following [30], MMSE of any predictor $\tilde{\mu} = L'\tilde{\beta} + M'\tilde{u}$ is given as

$$MMSE(\tilde{\mu}) = E((\tilde{\mu} - \mu)(\tilde{\mu} - \mu)') = Var(\tilde{\mu}) + Var(\mu) + Bias(\tilde{\mu})Bias(\tilde{\mu})' - Cov(\tilde{\mu}, \mu) - Cov(\mu, \tilde{\mu}) \quad (5)$$

where $Bias(\tilde{\mu}) = E(\tilde{\mu} - \mu)$.

[26] is obtained the predictor of μ under the BLUPs and the jackknifed ridge predictors, respectively, as

$$\hat{\mu} = L'\hat{\beta} + M'\hat{u} = QL\hat{\beta} + M'GZ'H^{-1}y$$

$$\tilde{\mu}_k = L'\tilde{\beta}(k) + M'\tilde{u}(k) = Q\tilde{\beta}(k) + M'GZ'H^{-1}y$$

and [26] also found by using Eq. (5)

$$MMSE(\hat{\mu}) = \mathbb{Q}MMSE(\hat{\beta})\mathbb{Q}' + \sigma^2 M'(G - GZ'H^{-1}ZG)M$$

$$MMSE(\tilde{\mu}_k) = \mathbb{Q}MMSE(\tilde{\beta}(k))\mathbb{Q}' + \sigma^2 M'(G - GZ'H^{-1}ZG)M$$

where

$$MMSE(\hat{\beta}) = \sigma^2 Q\Lambda^{-1}Q'$$

$$MMSE(\tilde{\beta}(k)) = \sigma^2 Q(\Lambda + kI_p)^{-2}(\Lambda + 2kI_p)\Lambda(\Lambda + 2kI_p)(\Lambda + kI_p)^{-2}Q' + k^4(\Lambda + kI_p)^{-2}Q'\beta\beta'Q(\Lambda + kI_p)^{-2}$$

where there arises a $p \times p$ orthogonal matrix Q such that $Q'Q = QQ' = I_p$ and $Q'X'H^{-1}XQ = \Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_p)$ where $\lambda_i, i = 1, \dots, p$, are the eigenvalues of $X'H^{-1}X$.

By following [26], we derive $\tilde{\mu}_{m,k}$ as $\tilde{\mu}_{m,k} = L'\tilde{\beta}_m(k) + M'\tilde{u}_m(k) = \mathbb{Q}\tilde{\beta}_m(k) + M'GZ'H^{-1}y$ and so, we introduce $MMSE(\tilde{\mu}_{m,k})$ by using Eq. (5)

$$MMSE(\tilde{\mu}_{m,k}) = \mathbb{Q}MMSE(\tilde{\beta}_m(k))\mathbb{Q}' + \sigma^2 M'(G - GZ'H^{-1}ZG)M$$

where

$$\begin{aligned} MMSE(\tilde{\beta}_m(k)) &= \sigma^2 Q(I_p - k^2(\Lambda + kI_p)^{-2})(I_p - k(\Lambda + kI_p)^{-1}) \\ &\quad \times \Lambda^{-1}(I_p - k(\Lambda + kI_p)^{-1})(I_p - k^2(\Lambda + kI_p)^{-2})Q' + k^2(I_p + k(\Lambda + kI_p)^{-1}) \\ &\quad - k^2(\Lambda + kI_p)^{-2}(\Lambda + kI_p)^{-1}Q'\beta\beta'Q(\Lambda + kI_p)^{-1}(I_p + k(\Lambda + kI_p)^{-1} - k^2(\Lambda + kI_p)^{-2}) \end{aligned}$$

and then, with the help of [26], it can be seen that the superiority of $MMSE(\tilde{\mu}_{m,k})$ over $MMSE(\hat{\mu})$ and $MMSE(\tilde{\mu}_k)$ is equipollent to the superiority of $MMSE(\tilde{\beta}_m(k))$ over $MMSE(\hat{\beta})$ and $MMSE(\tilde{\beta}(k))$.

2.1. The MMSE comparisons

Theorem 2.1. $\tilde{\beta}_m(k)$ overwhelms $\hat{\beta}$ in the sense of the MMSE sense iff

$$\beta'(\mathbb{L}^{-1}(\sigma^2 H + k^2(\Lambda + kI_p)^{-1})\beta\beta'(\Lambda + kI_p)^{-1})\mathbb{L}^{-1})^{-1}\beta \leq 1$$

is satisfied with $\mathbb{L} = k(I_p + k(\Lambda + kI_p)^{-1}) - k^2(\Lambda + kI_p)^{-2}(\Lambda + kI_p)^{-1}$ and $H = \text{Var}(\hat{\beta}) - \text{Var}(\tilde{\beta}_m(k))$.

Theorem 2.2. $\tilde{\beta}_m(k)$ overwhelms $\tilde{\beta}(k)$ in the sense of the MMSE sense iff

$$\beta'(\mathbb{T}^{-1}(\sigma^2 \mathbb{T} + k^4(\Lambda + kI_p)^{-2})\beta\beta'(\Lambda + kI_p)^{-2})\mathbb{T}^{-1})^{-1}\beta \leq 1$$

is satisfied with $\mathbb{T} = \text{Var}(\tilde{\beta}(k)) - \text{Var}(\tilde{\beta}_m(k))$.

To see the proof of Theorems 2.1 and 2.2, [17] can be investigated under linear mixed models.

3. Estimators of Biasing Parameters

Three methods of the selection of k that are used in ridge regression to the modified jackknifed ridge predictors are generalized in this part.

Firstly, [9] recommended estimator of k . Then, [25] extended to the linear mixed models estimator of k as $\hat{k}_h = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}'\hat{\alpha}}$ where $\hat{\sigma}^2 = (y - X\hat{\beta})'H^{-1}(y - X\hat{\beta})/(n - p)$ and we use $\hat{k}_h$ as the first estimator of k .

Secondly, by following [16], the second estimator of k is taken as $\hat{k}^h = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\sum\{\hat{\alpha}_i^2/[1 + \sqrt{1 + \lambda_i(\frac{\hat{\alpha}_i^2}{\hat{\sigma}^2})}]\}}$ where λ_i 's are the eigenvalues of $X'H^{-1}X$.

Concisely, with the help of [31], the third estimator of k is used as $\hat{k}_{LW} = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\sum \lambda_i \hat{\alpha}_i^2}$.

4. A Real Data Analysis

Gases that trap radiation and make the planet softer in the atmosphere are called greenhouse gases. (see the official United States Environmental Protection Agency (EPA) website [32]).

The transportation segment is the greatest component of greenhouse gas emissions and transportation gas emissions are produced from burning fossil fuel for cars, light/heavy trucks-buses, motorcycles and railways (see EPA website [32]).

We describe the response (y) as 297 fuel combustion in transport (in million tonnes) that is randomly taken from 27 zones throughout 2006-2016 inclusive years. Then, the explanatory variables are taken as fuel combustions in cars (x_1), light duty trucks (x_2), heavy duty trucks-buses (x_3), motorcycles (x_4) and railways (x_5) that are declared as fixed effects and because the 27 zones are randomly taken from the zones, the zones factor effect on the response is declared as random effect. Hence, the random intercept and slope model (RISM) is expressed as

$$y_{ij} = \beta_1 x_{ij1} + \beta_2 x_{ij2} + \beta_3 x_{ij3} + \beta_4 x_{ij4} + \beta_5 x_{ij5} + u_1 + u_2 t_{ij} + \varepsilon_{ij}, i = 1, \dots, 27 \quad j = 1, \dots, 11$$

where y_{ij} indicates the i th observation of the j th zone of the response, x_{ijs} indicates the i th observation of the j th zone of the explanatory variable x_s , $s = 1, \dots, 5$ and t_{ij} demonstrates time corresponding to y_{ij} (see [26]).

With the help of Matlab R2014a, unstructured (UN), diagonal (UN(1)), compound symmetry (CS) and variance components (VC) models are handled. Then, by utilizing the Akaike's Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC), the selection among models is performed and the estimation of the covariance matrices are computed by maximum likelihood (ML) or restricted maximum likelihood (REML) methods.

The consequences are attached by Table 1 and by examining Table 1, we favour UN(1) model in BIC and ML approaches (see for the details [26]; [33]). Then, we estimate UN(1) variance-covariance matrices as

$$\hat{G}_{ML} = \begin{bmatrix} 2.1913 & 0 \\ 0 & 0.0755 \end{bmatrix}$$

and $\hat{W}_{ML} = 0.25451 I_{297}$. Hence, by using $H = ZGZ' + W$, $\hat{H}_{ML}$ is found.

The eigenvalues of the matrix $X' \hat{H}_{ML}^{-1} X$ are figured out as $\lambda_1 = 1.4326 \times 10^7$, $\lambda_2 = 1.5085 \times 10^4$, $\lambda_3 = 4.7251 \times 10^3$, $\lambda_4 = 247.7243$ and $\lambda_5 = 41.5100$. Hence, the condition number is computed as $\frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} = 345120$ that is larger 1000, it shows severe multicollinearity.

$\hat{k}_h = 0.9324$, $\hat{k}^h = 15.1795$ and $\hat{k}_{LW} = 7.2215 \times 10^{-7}$ are derived by following Section 3.

With the help of Table 2, we see respectively, the parameter estimators, predictors, the scalar mean square error (SMSE) values of fixed effects.

Table 2 indicates that the situation of the estimators based on in accordance with the biasing parameter used. For $\hat{k}_h$, jackknifed ridge estimator, the blue and modified jackknifed ridge estimator; for $\hat{k}^h$, blue, jackknifed ridge estimator and modified jackknifed estimator; for $\hat{k}_{LW}$, modified jackknifed ridge estimator, jackknifed ridge estimator and blue have the minimum SMSE values.

Table 1. Goodness-of-fit results (model fit statistics)¹

Cov. Struc.	Est. Met. for Cov. Par.	AIC	BIC
UN	ML	337.30	374.24
	REML	362.03	398.76
UN(1)	ML	339.42	372.67
	REML	362.87	395.93
VC	ML	391.56	421.11
	REML	416.72	446.11
CS	ML	393.42	426.67
	REML	418.60	451.66

Table 2. Parameter estimates of fixed and random effects, SMSE values for $\hat{k}_h$, $\hat{k}^h$ and $\hat{k}_{LW}$ (Greenhouse Gases Data).

	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	SMSE	u_1	u_2
$\hat{\beta}$	1.024744842890595	1.050073767439245	0.933047790125021	3.343610285450398	3.678983222307381	0.146934583387170	0.548830170504787	-0.078066966087015
$\tilde{\beta}(\hat{k}_h)$	1.024814210301806	1.050106885233066	0.932994950376863	3.342217512844979	3.677067790930870	0.146819359552921	0.548938532485973	-0.078083061569482
$\hat{\beta}_m(\hat{k}_h)$	1.028024042902154	1.051705902727657	0.930517265690817	3.277526670770907	3.590874629722005	0.148373867083482	0.553830386847995	-0.078802183878643
$\tilde{\beta}(\hat{k}^h)$	1.035052390564944	1.055453092842452	0.925198513622418	3.136169165113276	3.394792624603533	0.253559688426873	0.564902511503670	-0.080452852670506
$\tilde{\beta}_m(\hat{k}^h)$	1.071654348563221	1.073282177704197	0.896785435545271	2.397437240066398	2.423730433054158	1.538053111200660	0.620095564683005	-0.088529407552526
$\tilde{\beta}(\hat{k}_{LW})$	1.024744842890595	1.050073767439245	0.933047790125021	3.343610285450397	3.678983222307380	0.146934583387170	0.548830170504789	-0.078066966087015
$\tilde{\beta}_m(\hat{k}_{LW})$	1.024744845432904	1.050073768704577	0.933047788162454	3.343610234217020	3.678983253993676	0.146934578929192	0.548830174396600	-0.078066966657172

¹The abbreviations "Cov. Struc." and "Est. Met. for Cov. Par." refer to "Covariance Structures" and "Estimation Methods for Covariance Parameters".

Figures 1 and 2 are produced for other k values. The plots of the $SMSE(\tilde{\beta}(k))$, $SMSE(\tilde{\beta}_m(k))$ and $SMSE(\hat{\beta})$ versus k intervals (0,20) and (0,1) are presented by Figures 1 and 2, respectively. Under SMSE, Figures 1 and 2 indicate that $\tilde{\beta}_m(k)$ has smaller SMSE values than $\tilde{\beta}(k)$ and $\hat{\beta}$ for k values in the interval (0,0.734). We see that the difference between $SMSE(\tilde{\beta}(k))$ and $SMSE(\hat{\beta})$ values increases as k values increase. On the other hand, we say that $\tilde{\beta}(k)$ overwhelms $\tilde{\beta}_m(k)$ and $\hat{\beta}$ when k values are larger than 0.734.

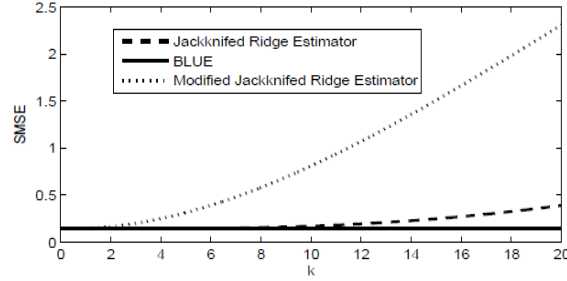


Figure 1. Plots of $SMSE(\tilde{\beta}(k))$, $SMSE(\tilde{\beta}_m(k))$ and $SMSE(\hat{\beta})$ values versus k (Greenhouse Gases Data).

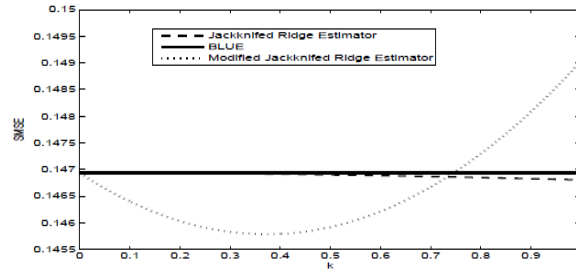


Figure 2. Plots of $SMSE(\tilde{\beta}(k))$, $SMSE(\tilde{\beta}_m(k))$ and $SMSE(\hat{\beta})$ values versus k (Greenhouse Gases Data).

Theorem 2.1 condition is figured out as $14.4426 \nless 1$ for $\hat{k}_h$, hence $\hat{\beta}$ has smaller MMSE values $\tilde{\beta}_m(\hat{k}_h)$. Theorem 2.1 condition is figured out as $182.3097 \nless 1$ for $\hat{k}^h$, so $\hat{\beta}$ has smaller MMSE values than $\tilde{\beta}_m(\hat{k}^h)$. For $\hat{k}_{LW}$, Theorem 2.1 condition is calculated as 1.1424×10^{-5} , since it is smaller than 1, $\tilde{\beta}_m(\hat{k}_{LW})$ has smaller MMSE values than $\hat{\beta}$.

Theorem 2.2 condition is calculated as 5.2938 for $\hat{k}_h$; $1.0530 \times 10^{+3}$ for $\hat{k}^h$, hence $\tilde{\beta}(\hat{k}_h)$ and $\tilde{\beta}(\hat{k}^h)$ have smaller MMSE values than $\tilde{\beta}_m(\hat{k}_h)$ and $\tilde{\beta}_m(\hat{k}^h)$. For $\hat{k}_{LW}$, Theorem 2.2 condition is found as 3.2170×10^{-12} which is smaller than 1, so $\tilde{\beta}_m(\hat{k}_{LW})$ has a good performance than $\tilde{\beta}(\hat{k}_{LW})$ under MMSE criterion.

For suitable k values, it is seen that $\tilde{\beta}_m(k)$ has a good performance (that is, $\tilde{\beta}_m(k)$ has small MMSE and SMSE values) than $\hat{\beta}$ and $\tilde{\beta}(k)$.

4. Conclusions

In this article, the modified jackknifed ridge way is recommended in the linear mixed models. Then, the MMSE comparisons and several different methods for k are given. Finally, greenhouse gases data analysis is done to demonstrate theoretical findings.

When the appropriate biasing parameter is used, this study is confirmed that the modified jackknifed ridge way guarantees smaller MSE than the jackknifed ridge way under multicollinearity.

References

- [1] Laird, N. M., Ware, J. H. 1982. Random-Effects Models for Longitudinal Data. *Biometrics*, 38, 963–974.
- [2] Longford, N. T. 1993. *Random Coefficient Models*. Oxford University Press, New York.

- [3] Harville, D. A. 1977. Maximum Likelihood Approaches to Variance Component Estimation and to Related Problems. *Journal of the American Statistical Association*, 72, 320-340.
- [4] Lindstrom, M. J., Bates, D. M. 1988. Newton-Raphson and EM Algorithms for Linear Mixed-Effects Models for Repeated-Measures Data. *Journal of the American Statistical Association*, 83, 1014-1022.
- [5] Diggle, P. J., Liang, K-Y., Zeger, S. L. 1994. *Analysis of Longitudinal Data*. Oxford University Press, New York.
- [6] Gumedze, F. N., Dunne, T. T. 2011. Parameter Estimation and Inference in the Linear Mixed Model. *Linear Algebra and Its Application*, 435, 1920-1944.
- [7] Henderson, C. R. 1950. Estimation of Genetic Parameters (Abstract). *Annals of Mathematical Statistics*, 21, 309-310.
- [8] Henderson, C. R., Kempthorne, O., Searle S. R., von Krosig, C. N. 1959. Estimation of Environmental and Genetic Trends from Records Subject to Culling. *Biometrics*, 15, 192-218.
- [9] Hoerl, A. E., Kennard, R. W. 1970. Ridge Regression Biased Estimation for Nonorthogonal Problems. *Technometrics*, 12, 55-67.
- [10] Singh, B., Chaubey, Y. P., Dwivedi, T. D. 1986. An Almost Unbiased Ridge Estimator. *Sankhya*, 48, 342-346.
- [11] Ohtani, K. 1986. On Small Sample Properties of the Almost Unbiased Generalized Ridge Estimator. *Communications in Statistics -Theory and Methods*, 15, 1571-1578.
- [12] Singh, B., Chaubey, Y. P. 1987. On Some Improved Ridge Estimators. *Statistical Papers*, 28, 53-67.
- [13] Nomura, B. 1988. On the Almost Unbiased Ridge Regression Estimator. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 17, 729-743.
- [14] Nyquist, H. 1988. Applications of the Jackknifed Procedure in Ridge Regression. *Computational Statistics & Data Analysis*, 6, 177-183.
- [15] Gruber, M. H. J. 1998. *Improving Efficiency by Shrinkage: the James-Stein and Ridge Regression Estimators*. Marcell Dekker, New York.
- [16] Özkale, M. R. 2008. A Jackknifed Ridge Estimator in the Linear Regression Model with Heteroscedastic or Correlated Errors. *Statistical Probability Letters*, 78, 3159-3169.
- [17] Batah, F. S. M., Ramanathan, T. V., Gore, S. D. 2008. The Efficiency of Modified Jackknife and Ridge Type Regression Estimators: a Comparison. *Surveys in Mathematics and its Applications*, 3, 111-122.
- [18] Khurana, M., Chaubey, Y. P., Chandra, S. 2014. Jackknifing the Ridge Regression Estimator: a Revisit. *Communications in Statistics -Theory and Methods*, 43, 5249-5262.
- [19] Hu, H., Xia, Y. 2013. Jackknifed Liu Estimator in Linear Regression Models. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 18, 331-336.
- [20] Wu, J. 2016. A Jackknifed Difference-Based Ridge Estimator in the Partial Linear Model with Correlated Errors. *Statistics*, 50, 1463-1375.
- [21] Turkan, S., Özel, G. 2016. A New Modified Jackknifed Estimator for the Poisson Regression Model. *Journal of Applied Statistics*, 46, 1892-1905.
- [22] Jiang, J., Lahiri, P., Wan, S. M. 2002. A Unified Jackknifed Theory for Empirical Best Prediction with M-Estimation. *Annals of Statistics*, 30, 1782-1810.
- [23] Özkale, M. R., Arıcan, E. 2018. A First-Order Approximated Jackknifed Ridge Estimator in Binary Logistic Regression. *Computational Statistics*, doi:10.1007/s00180-018-0851-6.
- [24] Liu, X. Q., Hu, P. 2013. General Ridge Predictors in a Mixed Linear Model. *Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 47, 363-378.
- [25] Özkale, M. R., Can, F. 2017. An Evaluation of Ridge Estimator in Linear Mixed Models: An Example from Kidney Failure Data. *Journal of Applied Statistics*, 44, 2251-2269.
- [26] Özkale, M. R., Özge, K. 2019. Adaptation of the Jackknifed Ridge Methods to the Linear Mixed Models. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 89, 3413-3452.
- [27] Yang, H., Ye, H., Xue, K. 2014. A Further Study of Predictions in Linear Mixed Models. *Communications in Statistics -Theory and Methods*, 43, 4241-4252.

- [28] Pereira, L. N., Coelho, P. S. 2012. A Small Area Predictor under Area-Level Linear Mixed Models with Restrictions. *Communications in Statistics -Theory and Methods*, 41, 2524-2544.
- [29] Robinson, G. K. 1991. That BLUP is a Good Thing: the Estimation of Random Effects (with Discussion). *Statistical Science*, 6, 15-51.
- [30] Štulajter, F. 1997. Predictions in nonlinear regression models. *Acta Math Univ Comenian*, LXVI, 71–81.
- [31] Lawless, J. F., Wang, P. A. 1976. A Simulation Study of Ridge and Other Regression Estimators. *Communications in Statistics -Theory and Methods*, 5, 307-323.
- [32] Eurostat website, 2018. Greenhouse Gas Emissions by Source Sector (source: EEA, env_air_gge). Available at http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_air_gge&lang=en.
- [33] Kass, R. E., Raftery, A. E. 1995. Bayes Factors. *Journal of the American Statistical Association*, 90, 773-795.

Flow Patterns and Bifurcations in a Z-Shaped Cavity

Ebutalib Çelik*¹ 

*¹ Department of Mathematics, Science Faculty, Erciyes University, KAYSERİ

(Alınış / Received: 30.03.2020, Kabul / Accepted: 06.08.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Keywords

Z-shaped cavity,
Flow structure,
Bifurcations,
Fem,
Vortex formation

Abstract: Flow patterns for incompressible, steady flows in a Z-shaped domain with two lids moving in the same direction are determined by using the numerical method and nonlinear dynamical systems. The cavity type flow problem governed by the Stokes equation contains many different flow structures within the region as the heights of the cavity (h_1 and h_2) varied. By examining the transformation of these structures, vortex formation scenarios within the cavity are obtained.

Z-Şekilli Kavitedeki Akış Desenleri ve Çatallanmalar

Anahtar Kelimeler

Z-şekilli kaviti,
Akış yapıları,
Çatallanmalar,
Fem,
Girdap oluşumu

Öz: İki kapağı aynı yönde hareket eden Z-şekilli bölgedeki sıkıştırılmaz, durağan akışlar için akış desenleri sayısal yöntem ve lineer olmayan dinamik sistemler kullanılarak belirlendi. Stokes denklemi tarafından yönetilen kaviti tipi akış problemi, kavitinin (h_1 ve h_2) yükseklikleri değiştikçe bölgede birçok farklı akış yapısı içerir. Bu yapıların dönüşümü incelenerek bölgedeki girdap oluşum senaryoları belirlendi.

*İlgili Yazar, email: ecelik@erciyes.edu.tr

1. Introduction

Many studies have been conducted on the flow transformations and the vortex formation mechanism in the fluid-filled cavity of different geometries. Gürçan[1] investigated the effect of the Reynolds number in the range $Re \in [0,100]$ on the flow patterns and their bifurcations in a double-lid-driven cavity with free surfaces for varying A and three values of speed ratios ($S = -1, 0, 1$). Then, Gürçan et al. [2] considered Stokes flow in a rectangular driven cavity of depth $2H$ and width $2L$, with two stationary side walls and two lids moving in opposite directions. They showed changes in the streamline as the cavity aspect ratio A and speed ratio S varied. (S, A) control space diagram including several critical curves representing flow bifurcations at degenerate critical points is constructed. In the continuation of this study, Gürçan et al. [3] turned their focus to deep cavities those with large height-to-width aspect ratios, where multiple eddies arise. Gaskell et al. [4] investigated the flow in a half-filled annulus lying between horizontal, infinitely long concentric cylinders of radii R_i , R_o rotating with peripheral speeds U_i , U_o . They used Stokes' approximation to formulate a boundary value problem which is solved for the stream function, ψ , as a function of radius ratio $\bar{R} = R_i / R_o$ and speed ratio $S = U_i / U_o$. Recently, Gürçan et al., Gürçan and Bilgil [5,6] analyzed the Stokes flow in a sectorial cavity which is governed by two physical control parameters A and S . Flow structures and eddy genesis mechanisms were illustrated in detail with flow patterns and bifurcation diagram.

McQuain et al. [7] studied the flow numerically in a trapezoidal cavity (including the rectangular and triangular cavities) with one moving wall. They investigated the effect of cavity geometry on the flow structure and showed that streamlines are sensitive to geometric changes. McQuain et al. [7] presented efficient numerical techniques to solve the Navier-Stokes equation inside the both equilateral and scalene triangular cavity. Erturk and Gokcol [8] also considered 2-D steady incompressible flow inside a triangular cavity with different triangle geometries to compare his results with those obtained earlier.

Bilgil and Gürçan [9] investigated the effect of the Reynolds number on flow bifurcations and eddy genesis in a lid-driven sectorial cavity by varying A for each S . The 2-D Navier-Stokes equations are solved by using the finite element method to analyze the flow structures within the cavity. In addition to these geometries, an L-

shaped cavity has been studied recently. Deliceoğlu and Aydın [10] studied flow bifurcation and eddy generation in a steady, viscous L-shaped cavity with the lids moving in opposite directions using a Galerkin finite element method with a stabilization technique. They analyzed topological behavior near a re-entrant corner on the boundary and showed the effect of the Reynolds number on flow bifurcations and eddy generation. In the continuation of this study, Deliceoğlu and Aydın [11] formulated the problem as a boundary value problem in the case of Stokes flow which is solved by analytically for the same region. They assumed that the flow governs by h_1 and h_2 which are related to the heights of the region and obtained the (h_1, h_2) control space diagram to demonstrate the new eddy mechanism in the cavity.

To our knowledge, there is no study on the new eddy mechanism in a Z-shaped cavity with its upper and lower lids moving in the same direction. In this article, we assume that h_1 and h_2 are parameters governing the flow and the control-space diagram is constructed which contains several bifurcation curves representing a transformation in the flow structures by using the numerical method and theoretical framework. Thus, the flow bifurcations and main scenarios for the new vortex formation mechanisms are obtained.

2. Material and Method

In this chapter, the boundary value problem formed for steady, viscous and incompressible flow in the two-dimensional Z-shaped cavity will be solved (as shown in Figure 1). All walls are fixed except for the top and bottom lids which move in the same direction at a constant speed ($u = 1$) and they drive the internal flow. From the no-slip boundary conditions, boundary values can be expressed in terms of velocity vector components which allows us to obtain solutions in the form of stream function. Since the boundary conditions are not continuous at the intersection of the fixed and translating lids, the boundary conditions are forced to smooth transition from the sidewall to the top or bottom lids. The width of the flow region is fixed ($L=1.5$) and the different flow patterns and their bifurcations within the cavity are investigated by varying the two control parameters h_1 and h_2 which are related to the height of the lower and upper part of the cavity, respectively.

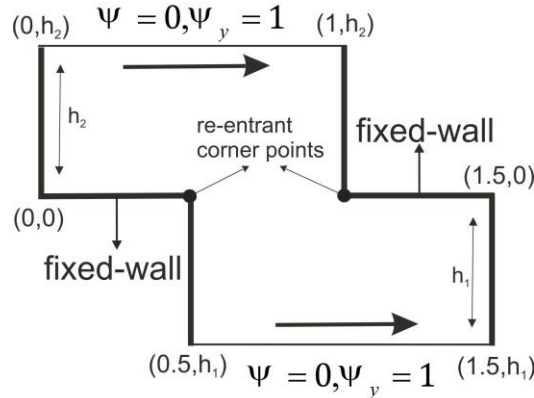


Figure 1. Boundary conditions for the lid-driven Z-shaped cavity.

For the Z-shaped cavity, two dimensional slow viscous flow ($Re=0$) will be considered. In this case, Navier-Stokes equations are transformed to Stokes equations by neglecting inertial forces and then the solutions are obtained by the Galerkin finite element approximations.

Governing equations in an open bounded domain $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ with the boundary $\partial\Omega$ for the steady, viscous and incompressible flow are given by

$$\begin{cases} (\nabla \mathbf{u})\mathbf{u} - \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{u} + \nabla p = \mathbf{f} & \text{in } \Omega, \\ \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 & \text{in } \Omega, \\ \mathbf{u} = 0 & \text{on } \partial\Omega. \end{cases} \quad (1)$$

We will be concerned with Stokes flow in which viscous forces predominate over the inertial forces. The Navier-Stokes equations are rewritten as the Stokes equations for incompressible Newtonian fluid flows with a low Reynolds number by neglecting the non-linear terms in the equation (1);

$$\begin{cases} -\frac{1}{Re}\Delta \mathbf{u} + \nabla p = \mathbf{f} & \text{in } \Omega, \\ \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 & \text{in } \Omega. \end{cases} \quad (2)$$

In two-dimensional cavity type flow problems, the existence of a stream function has an advantage such that it allows us to work with a single scalar function rather than the velocity field. Stream function can be derived from the equations (2) by eliminating the pressure for the case $Re=0$. If we assume that external force ($\mathbf{f}$) is absent, a stream function $\psi(x, y)$ may be expressed as a unique solution of the biharmonic equation

$$\begin{cases} \frac{\partial^4 \psi}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \psi}{\partial y^4} = \nabla^4 \psi = 0 \\ \psi = \text{constant}, \quad \frac{\partial \psi}{\partial n} = \text{constant}. \end{cases} \quad (3)$$

2.1. Finite element methods for the problem

We can rewrite the two dimensional boundary value problem of (3) as a variational statement by Mitchell [12]: It can be find $\psi \in V = H_0^2(\Omega)$ such that

$$B(\psi, \Phi) = (\Delta \psi, \Delta \Phi) = \int_{\Omega} \Delta \psi \Delta \Phi d\Omega = 0, \quad (4)$$

for all $\Phi \in V$ and $\Phi \in H_0^2(\Omega)$ where $H_0^2(\Omega)$ is the class of all H^2 functions satisfying the boundary condition of (3) and Δ is the Laplacian operator. In this study, the standard Galerkin finite element method is used to solve the biharmonic problem. In this study, we consider Galerkin's method for constructing an approximate solution to the boundary value problem. In the principal of process, the approximation of the problem is determined by choice of finite-dimensional subspace $V_h \subset V$ defined on a family of regular quadrangular discretization T_h of the domain. To create the discretization of the domain, the bicubic rectangle is chosen as an appropriate element for approximating fourth-order problems such as $\forall (\psi_h, \Phi_h) \in V_h$

$$B(\psi_h, \Phi_h) = (\Delta \psi_h, \Delta \Phi_h) = 0.$$

Since the test function $\psi_h \in H^2$, it follows that the basis function Φ_h and its normal derivative are specified, and they are continuous across interelement boundaries. This results in such basis function that is the two-dimensional version of Hermite interpolation functions on a rectangular element. They are constructed by substituting the product of a cubic equation in x by a cubic in y yielding in a collection of 16 monomials

$$\begin{bmatrix} 1 \\ x \\ x^2 \\ x^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & y & y^2 & y^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & y & y^2 & y^3 \\ x & xy & xy^2 & xy^3 \\ x^2 & x^2y & x^2y^2 & x^2y^3 \\ x^3 & x^3y & x^3y^2 & x^3y^3 \end{bmatrix}.$$

Then, the solution is attained for the unknown coefficients of these monomials after calculating their values by using the following four quantities at each corner of the rectangle:

$$\left\{ \psi_h, \frac{\partial \psi_h}{\partial x}, \frac{\partial \psi_h}{\partial y}, \frac{\partial^2 \psi_h}{\partial x \partial y} \right\}.$$

3. Results

In this chapter, the mechanism of vortex formation occurring in the Z-shaped cavity with its upper and lower lids moving in the same direction will be examined. The flow patterns in the Z-shaped domain are obtained by changing the parameters h_1 and h_2 which are related to cavity heights. While the flow patterns are stable at some values of parameter space, the pattern turns into another one by changing of the parameters. This transformation in the structure of pattern is called bifurcation. A curve which refers to the bifurcation in degenerate points is called the bifurcation curve, and the space formed by the bifurcation curves is called the control space diagram. The method given in the previous section is used to create the control space diagram.

In this study, the control space diagram is obtained for $-1.8 \leq h_1 \leq -1.4$ and $1.4 \leq h_2 \leq 1.8$ including salient and re-entrant corners, see Figure 2. Outside of this range, the flow structures and their bifurcations are the same as the rectangular cavity, so the cavity heights are limited at these intervals.

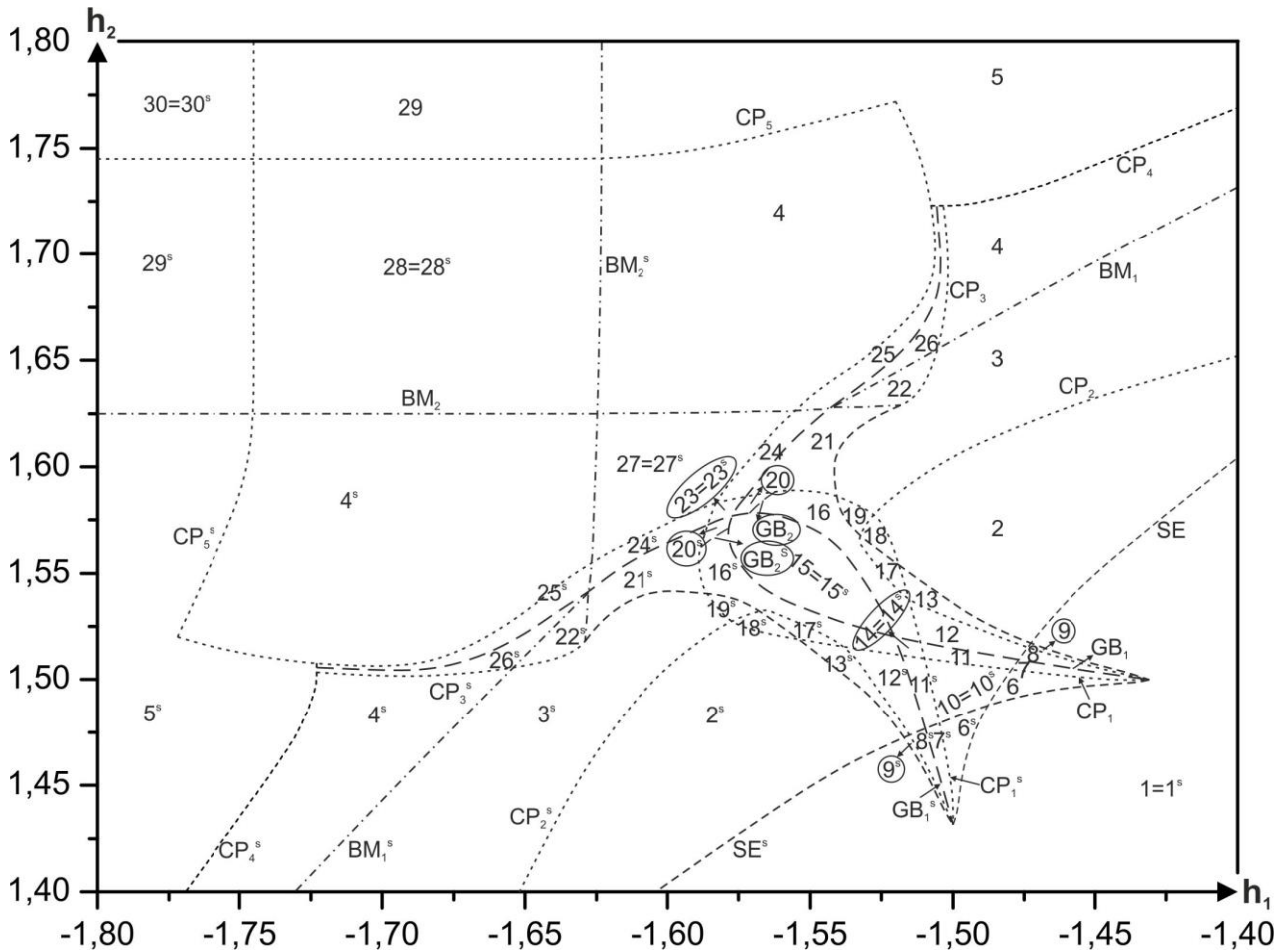


Figure 2. The control space diagram for the Z-shaped cavity. The parameter space (h_1, h_2) is divided into different regions by the bifurcation curves, and the labels in the each regions refer to the flow patterns given in Figure 3-Figure 5.

A total of 60 different flow patterns are obtained in the control space diagram, 30 for the upper cavity (see Figure 3, Figure 4, Figure 5) and 30 for the lower cavity. Although the boundary value problem for the Z-shaped cavity is not symmetrical, it is interesting that the curves in the control space diagram are symmetrical about $y = -x$, as shown in Figure 2. This suggests that the vortex formation mechanism in the upper region of the Z-shaped cavity also occurs in the lower region of the cavity for corresponding symmetrical values. For example, the flow patterns in the upper region of the cavity which are denoted by the numbers (1), (2), (3), (4), (5) in the control space diagram appear in the lower region of the cavity and they are denoted by (1^s) , (2^s) , (3^s) , (4^s) , (5^s) in the parameter space (see Figure 10). Therefore, the flow patterns that occur within the cavity and the different vortex formation mechanisms are obtained only for the upper part of the cavity, and due to symmetry, similar expressions and flow topology are also valid for the lower part of the cavity.

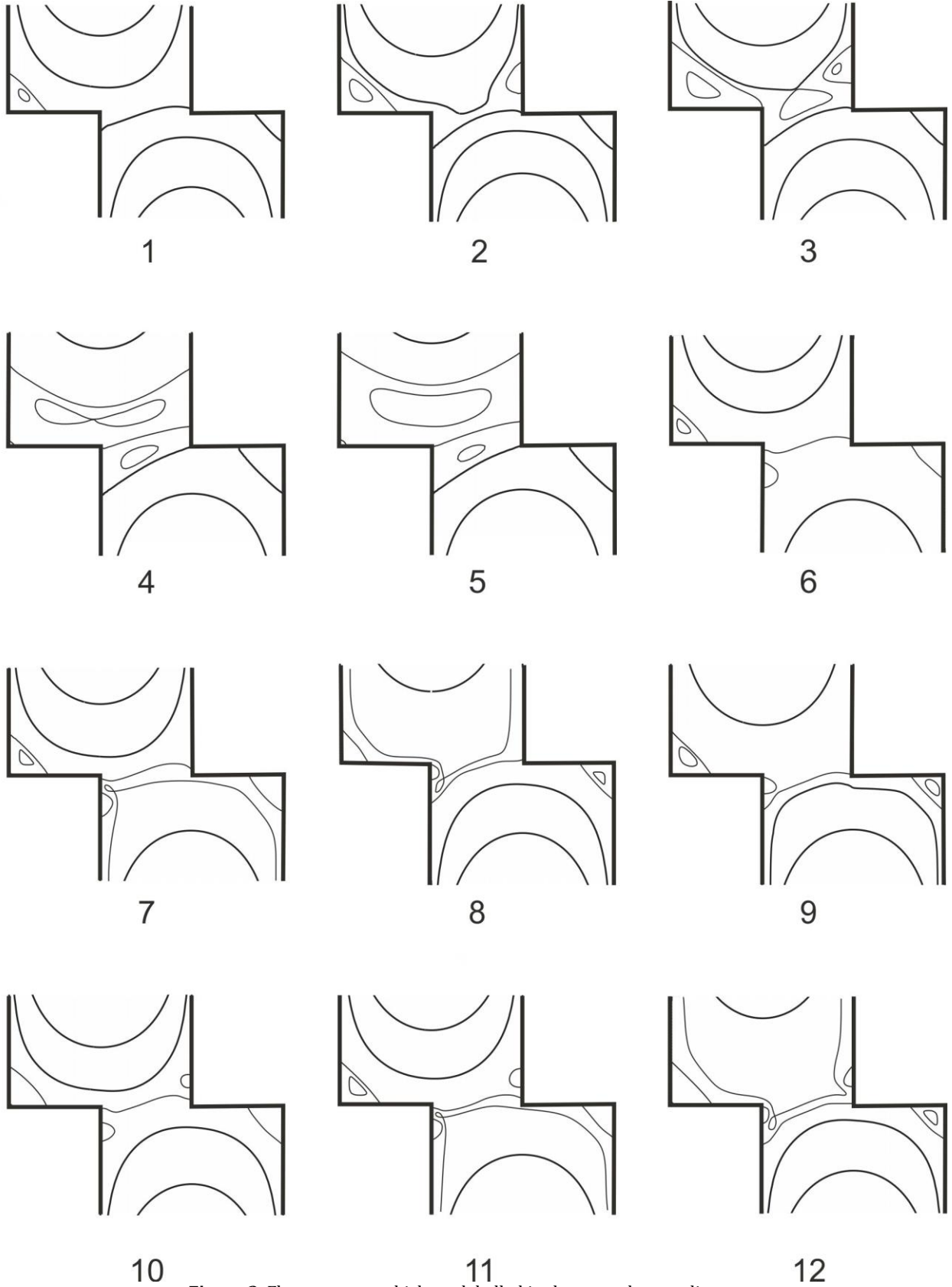


Figure 3. Flow patterns which are labelled in the control space diagram:

- (1) $h_1 = -1.4$, $h_2 = 1.5$, (2) $h_1 = -1.47$, $h_2 = 1.59$, (3) $h_1 = -1.47$, $h_2 = 1.65$, (4) $h_1 = -1.54$, $h_2 = 1.71$, (5) $h_1 = -1.53$, $h_2 = 1.785$,
 (6) $h_1 = -1.475$, $h_2 = 1.5$, (7) $h_1 = -1.475$, $h_2 = 1.5$, (8) $h_1 = -1.47$, $h_2 = 1.512$, (9) $h_1 = -1.467$, $h_2 = 1.517$, (10) $h_1 = -1.49$, $h_2 = 1.5$,
 (11) $h_1 = -1.5$, $h_2 = 1.512$, (12) $h_1 = -1.5$, $h_2 = 1.525$.

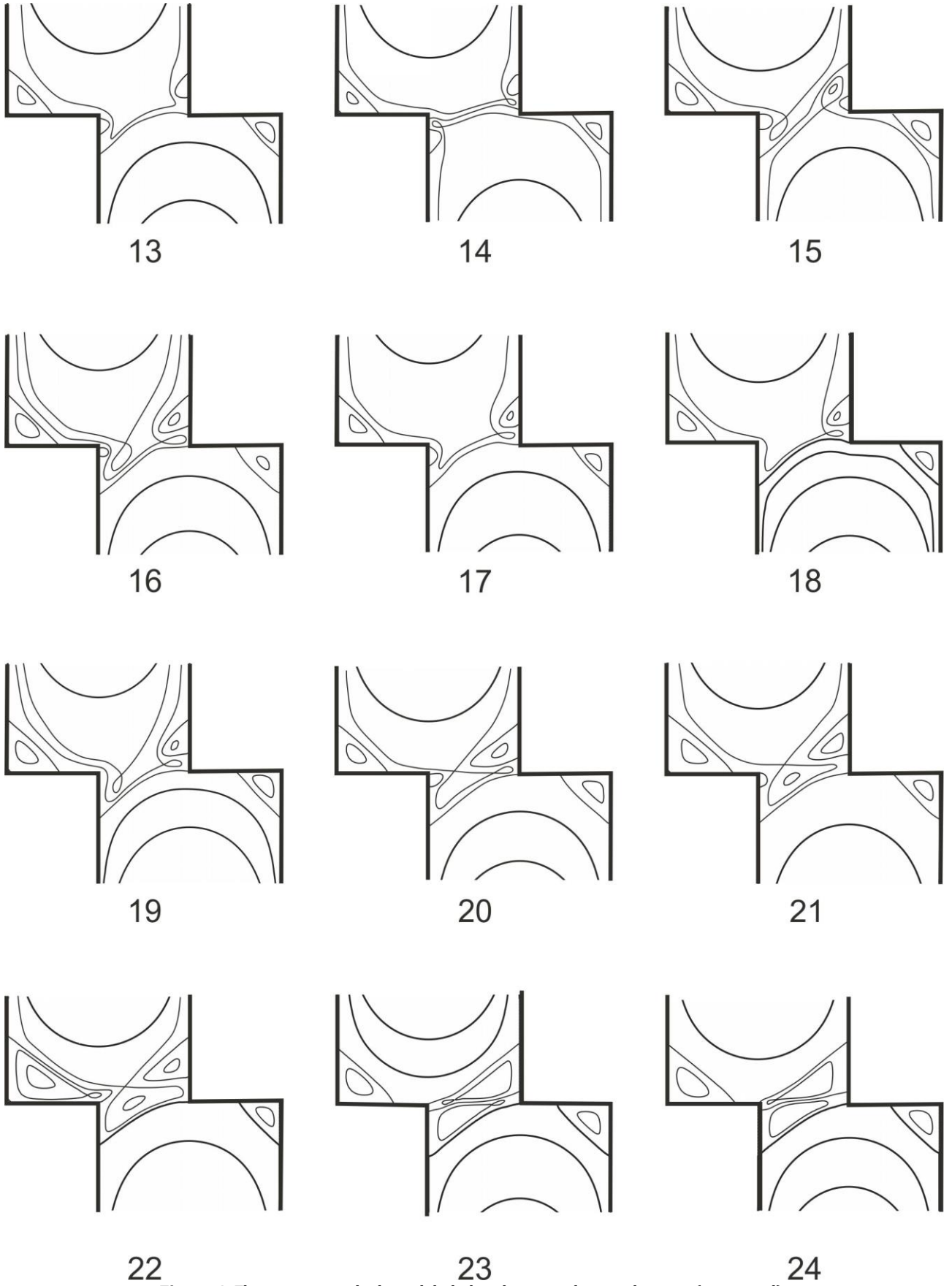


Figure 4. Flow patterns which are labeled in the control space diagram (continued):

(13) $h_1=-1.51, h_2=1.54$, (14) $h_1=-1.512, h_2=1.514$, (15) $h_1=-1.545, h_2=1.555$, (16) $h_1=-1.545, h_2=1.57$, (17) $h_1=-1.52, h_2=1.552$, (18) $h_1=-1.523, h_2=1.562$, (19) $h_1=-1.53, h_2=1.57$, (20) $h_1=-1.57, h_2=1.584$, (21) $h_1=-1.545, h_2=1.607$, (22) $h_1=-1.514, h_2=1.644$, (23) $h_1=-1.578, h_2=1.587$, (24) $h_1=-1.562, h_2=1.612$

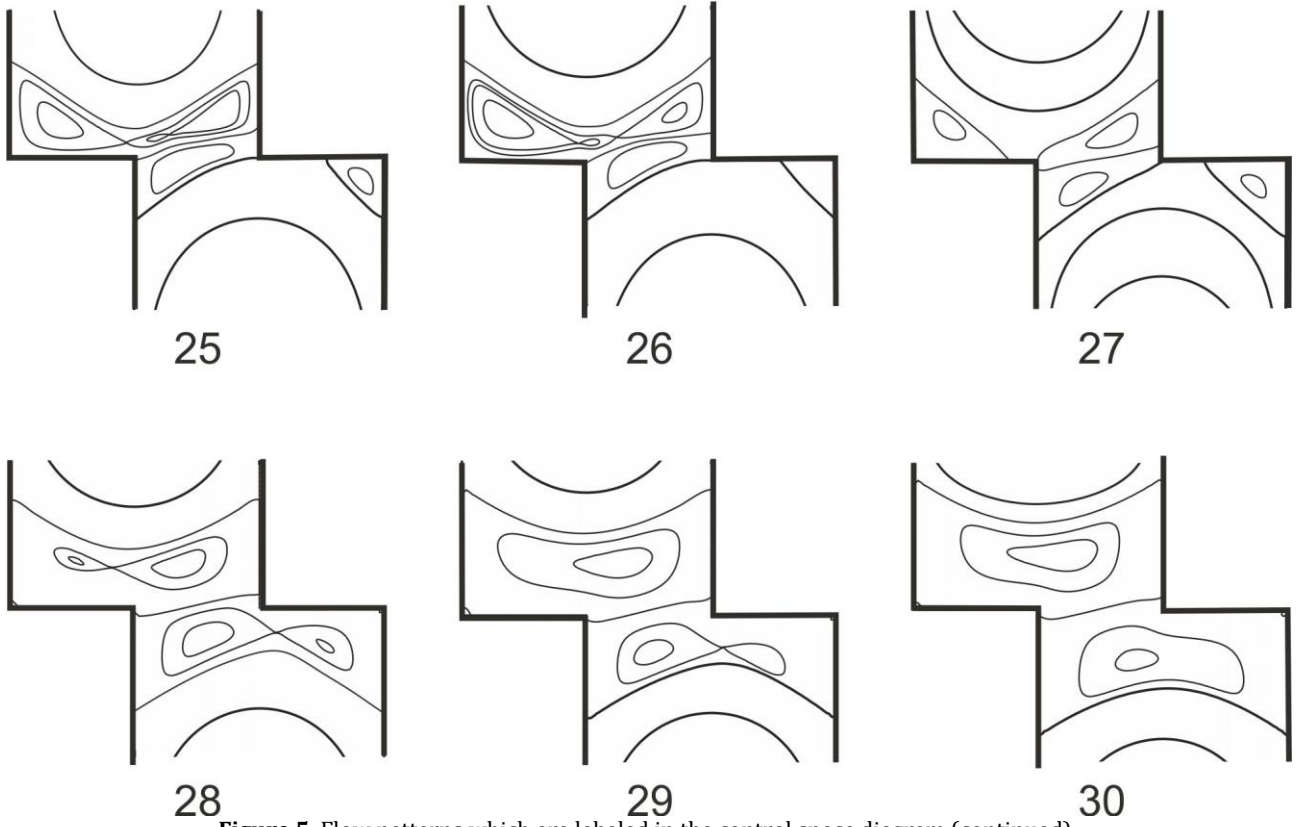


Figure 5. Flow patterns which are labeled in the control space diagram (continued):

(25) $h_1=-1.536, h_2=1.639$, (26) $h_1=-1.525, h_2=1.65$, (27) $h_1=-1.595, h_2=1.614$, (28) $h_1=-1.67, h_2=1.715$, (29) $h_1=-1.69, h_2=1.775$, (30) $h_1=-1.765, h_2=1.791$

3.1. Bifurcations at the degenerate critical points

It is possible to analyze the local flow topology of the critical points using the tools of dynamic systems. In this study, the classification of critical points near a stationary wall or away from boundaries has been made by considering the theorems given below. The normal form of stream function at a simple (with singular non-zero Jacobian matrix) and non-simple (with zero Jacobian matrix) critical points (near the wall and away from the boundary) is given in Theorem 1, Theorem 2, Theorem 3, respectively. Detailed studies can be found in the Brøns and Hartnack [13], Gürcan et al. [14], Hartnack [15].

Theorem 1: Let ψ is expanded in a power series near a stationary wall

$$\psi = y^2 \sum_{i+j=0}^{\infty} a_{i,j+2} x^i y^j. \quad (5)$$

Assuming the non-degenerate conditions $a_{0,3} \neq 0, a_{2,2} \neq 0$ a normal form of order 4 for the stream function (5) is

$$\psi = y^2 \left(\sigma y + b + \frac{1}{2} x^2 \right) \quad (6)$$

where

$$\sigma = \begin{cases} 1 & \text{for } \frac{a_{2,2}}{a_{0,3}} > 0 \\ -1 & \text{for } \frac{a_{2,2}}{a_{0,3}} < 0 \end{cases}$$

and b is a transformed small parameter.

Theorem 2: Let, $a_{0,2}$, $a_{1,2}$, $a_{0,3}$ and $a_{2,2}$ be small parameters. Assuming the non-degeneracy conditions $a_{1,3} \neq 0$, $a_{3,2} \neq 0$ are satisfied, then the normal form of order 5 for the stream function (5) is

$$\psi = y^2 \mu_1 + \mu_2 x + \mu_3 y + xy + x^3 \quad (7)$$

where μ_1 , μ_2 and μ_3 are small transformed parameters.

Theorem 3: Let $a_{1,0}$, $a_{0,1}$, $a_{2,0}$, $a_{1,1}$, and $\tilde{a}_{2,0}$, $\tilde{a}_{3,0}$ be small parameters. Assuming the non-degeneracy conditions, $\tilde{a}_{3,0} \neq 0$ a normal form of order 3 for the stream function is

$$\psi = \frac{\sigma}{2} y^2 + cx + \frac{1}{3} x^3 \quad (8)$$

where

$$\sigma = \begin{cases} -1 & \text{for } a_{0,2}/\tilde{a}_{0,3} < 0 \\ 1 & \text{for } a_{0,2}/\tilde{a}_{0,3} > 0 \end{cases}$$

and c is transformed small parameters.

There exits two different kinds of simple degenerate critical points close the stationary wall as a bubble creation and bubble merging which are illustrated in Figure 6-(a) and Figure 6-(b), respectively. In the first kind, see Figure 6-(a), there is a side eddy appearing on the wall with a center and two on-wall saddles connected by heteroclinic trajectories. This bifurcation is represented by SE (dash) in the diagram. In the second, BM_i , $i=1,2$ (dash-dot-dash) represents bubble merging bifurcation at which two on wall saddle points coalesce to produce an off wall saddle point, see Figure 6-(b).

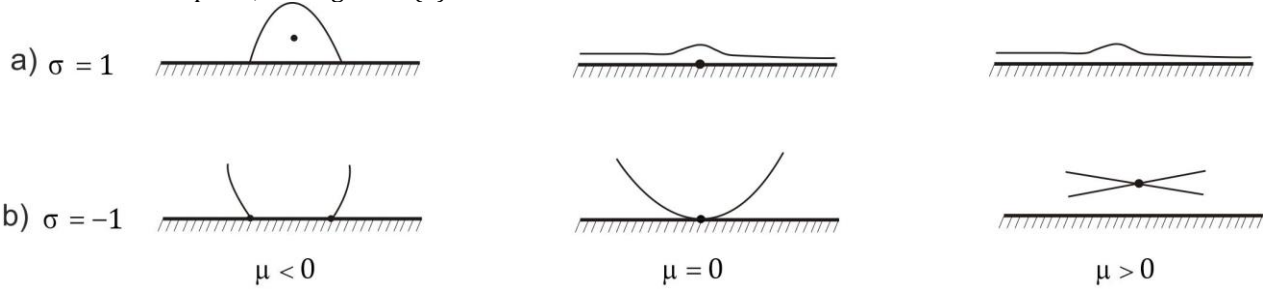


Figure 6. Bifurcation diagrams for the normal form of stream function (6) a) $\sigma = 1$, b) $\sigma = -1$.

The flow structure which appears away from boundaries having a saddle with center is named by cusp bifurcation and denotes by CP_i , $i=1,...,5$ curves (short-dash), see Figure 7.

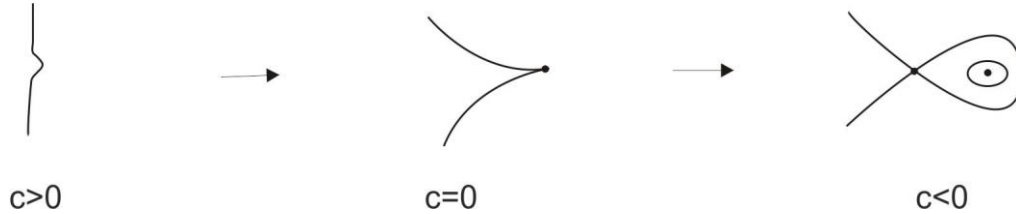


Figure 7. Bifurcation diagrams for the normal form of stream function (8).

In the non-simple case, the bifurcation diagram for the fifth-order normal form equation (7) is given in Figure 8. GB_i , $i=1,2$ refers to global bifurcation where a separation bubble and separation line interact with an in-flow saddle point and creates the same flow structure in the opposite direction. The flow patterns in Figure 2 correspond exactly to the patterns in Figure 8 which are labeled with the same number as those Figure 2.

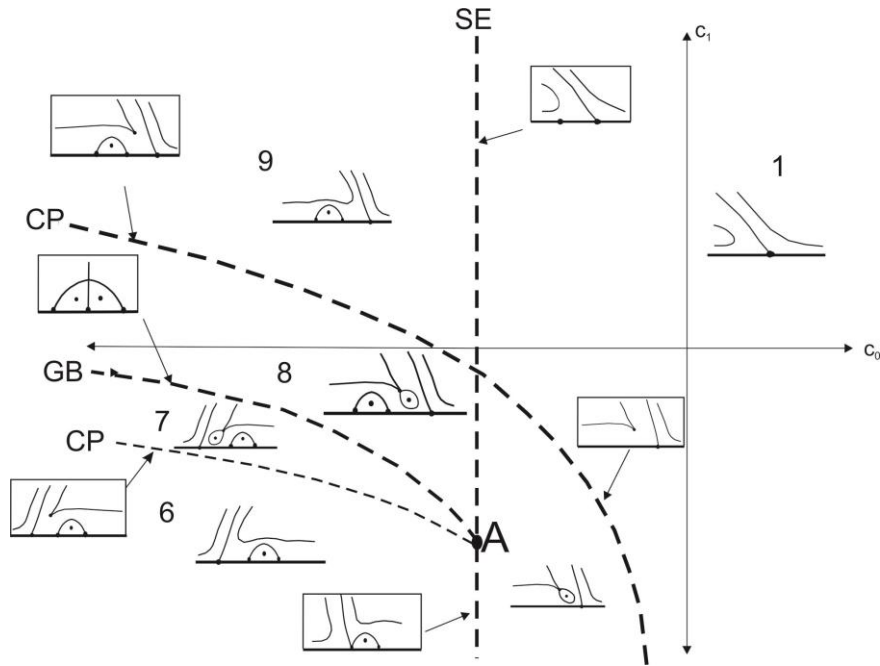


Figure 8. Local behaviour of non-simple degenerate points near a stationary wall and corresponding flow patterns.

3.2. Vortex formations in the domain

Vortex formation occurs after various flow transformations within the cavity see Figure 9, which shows all possible eddy mechanism that increases the number of eddies from 2 to 4.

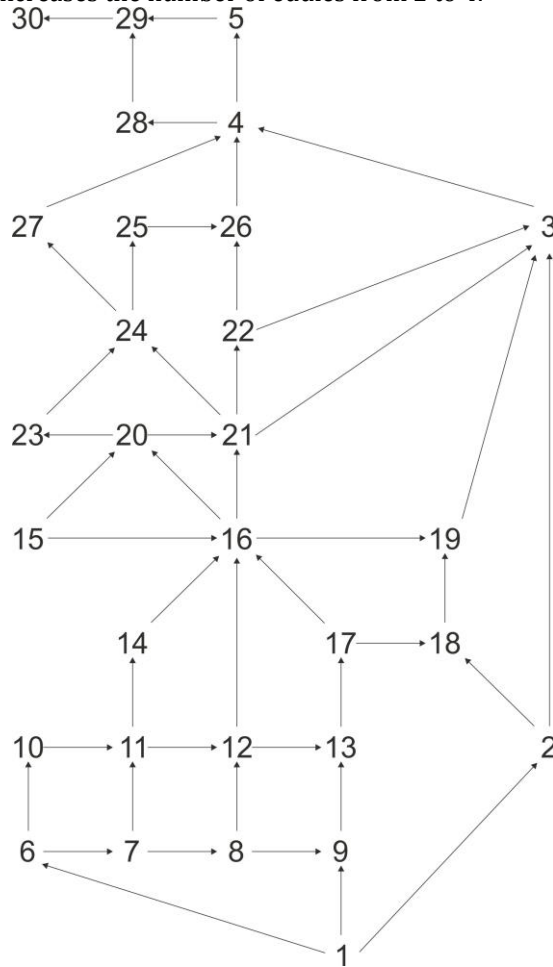


Figure 9. Schematic representation of the flow pattern numbers in Figure 2 for the vortex formation in the Z-shaped cavity. Directed arrows from 1 to 30 illustrate all possible eddy mechanism which form from 2 to 4 eddies.

Two basic bifurcation scenarios are observed for the vortex formation in the Z-shaped cavity. We will describe them in details. The first scenario occurs if there is a separation line around the re-entrant corner. As shown in Figure 10-(1), there are two primary vortices and two corner vortices in the Z-shaped cavity, one in the upper and the other one in the lower cavity. The separation line appears around the corner between the upper and lower cavity. As h_2 increases, a side eddy (separation bubble) appears along the right side wall in the upper part of the cavity (Figure 10-(2)). As h_2 gradually increases, the left corner vortex grows and approaches the re-entrant corner point. Then a pitchfork bifurcation occurs between the corner point, and the separation bubble located on the right wall and a saddle point emerge (Figure 10-(3)). With a further increase in height, the separation bubble on the wall with a corner vortex is approaching the saddle point, and when the h_2 height is above the BM_1 bifurcation curve, heteroclinic (saddle-to-saddle) connection merges (Figure 10-(4)). When the height of the h_2 is above the CP_4 curve, the two center points coalesce at the saddle point to produce the second vortex in the upper part of the cavity (Figure 10-(5)). Also, the separation line separating the cavity near the corner is transformed into a vortex that separates the lower and upper parts of the cavity. As stated earlier, the number of vortices reaches two after a similar set of bifurcations for the lower part of the cavity.

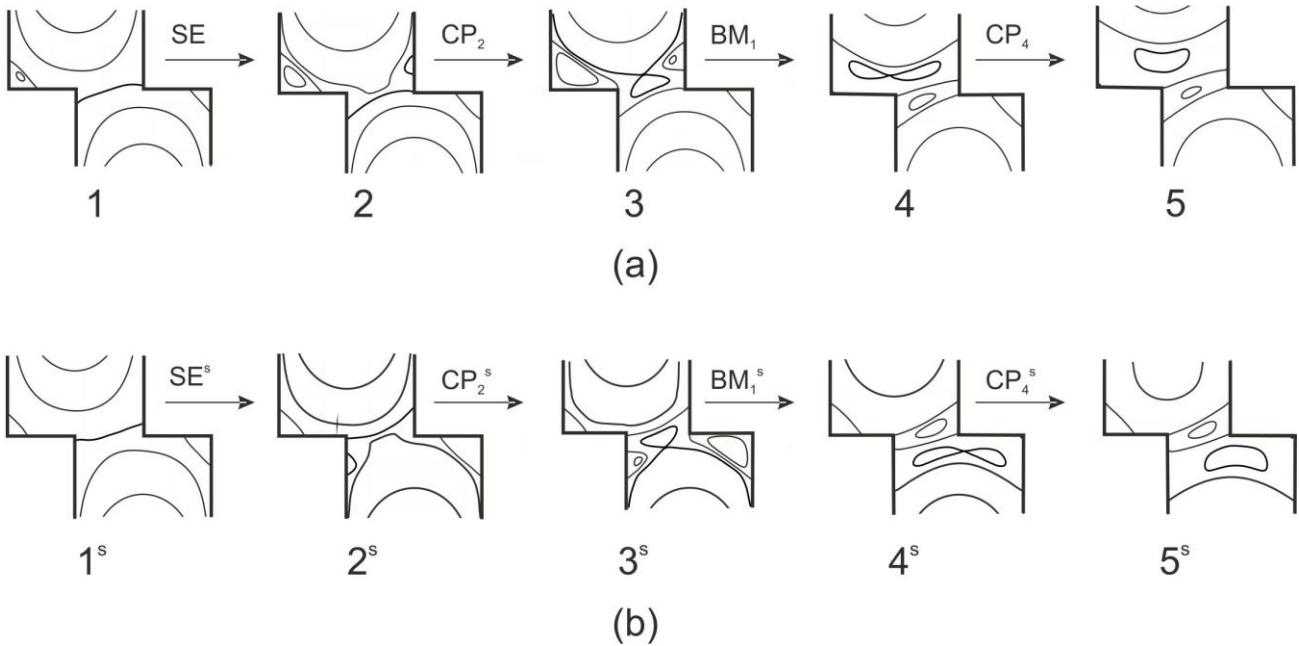


Figure 10. (a) A section of bifurcation diagram for the mechanism of vortex formation (b) symmetric case.

The second scenario for the formation of a vortex is observed when there is a separation bubble around the corner, as shown in Figure 11-(21). There are also two cases for the separation bubble to evolve into vortex formation that occurs around the corner. In the first case, the side eddy on the upper right wall and the separation bubble formed at the re-entrant corner approach to the saddle point in the cavity and merge each other to create a new separatrix and two other separation lines from the one sidewall to the opposite wall. Thus the saddle point replaced the structure called separatrix (Figure 11- (24)). Here if you continue to follow the arrows, there are again two cases. Separatrix formed on the right corner either turn into a center by the coalescence of the sub-eddies in the saddle point (Figure 11-(27)) or will bring heteroclinic bifurcation by getting closer to the left corner vortex (Figure 11-(25)). In the second, the separation bubble becomes closer to the left corner vortex and forms the separatrix structure (see Figure 11-(22)). This separatrix will either create a heteroclinic bifurcation at the saddle point with a side eddy on the wall (Figure 11-(26)) or turn into a full vortex and perform a series of bifurcations in the first scenario (Figure 11-(3)). After these four different structural bifurcations, one primary vortex and separatrix appear at the upper part of the cavity (Figure 11-(4)). When the height h_2 is increased, the two sub-eddies contained in the separatrix structure will join together at the saddle point to produce a second vortex (Figure 11-(5)). Thus, at the end of the two scenarios, the number of vortices in the upper of the Z-shaped cavity is doubled. The effect of the separation line or separation bubble that occurred around the corner to these bifurcations is presented.

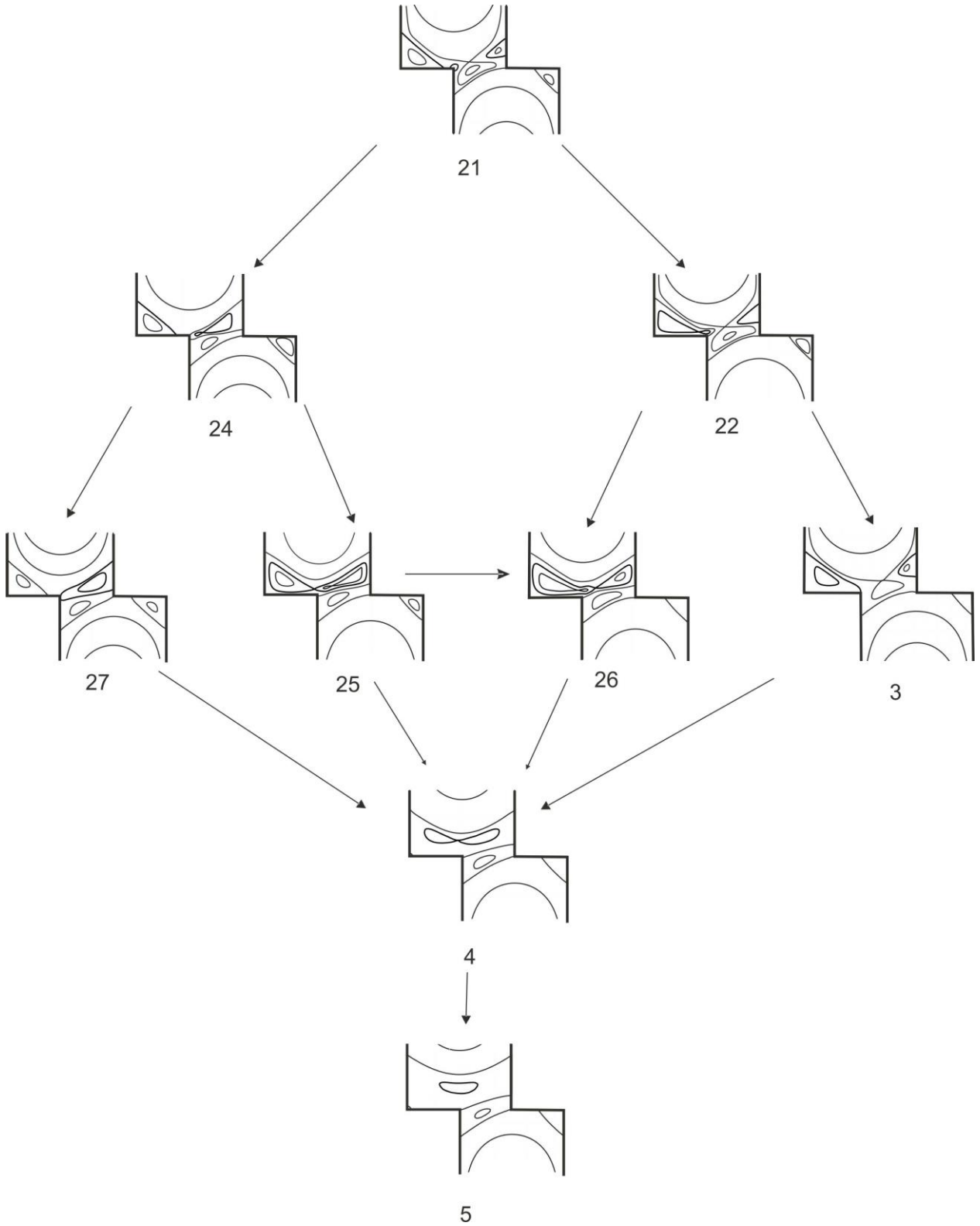


Figure 11. A section of bifurcation diagram for the mechanism of vortex formation.

4. Conclusion

In this paper, we obtained the flow patterns occurring in the domain and found out the mechanism of eddy generation in the Z-shaped cavity with lids moving in the same direction. We constructed the (h_1, h_2) parameter space with a series of bifurcation curves for $-1.8 \leq h_1 \leq -1.4$ and $1.4 \leq h_2 \leq 1.8$. The flow patterns in the upper part for a specific value of heights were observed surprisingly in the lower part for the symmetrical values of parameter about the $y = -x$. Several flow transformations to increase the number of vortices in the upper cavity from one to two are shown schematically.

Acknowledgment

The author wish to thank Prof. Dr. A. Deliceoğlu and Prof. Dr. F. Gürcan for their valuable support, comments, suggestions and corrections. This study was supported by Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) [project number 114F525].

References

- [1] Gürcan F. Effect of the Reynolds number on streamline bifurcations in a double-lid-driven cavity with free surfaces. *Comput. Fluids* 2003;32:1283–1298.
- [2] Gürcan F, Gaskell PH, Savage MD, Wilson MCT. Eddy genesis and transformation of Stokes flow in a double-lid driven cavity. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 2003;217:353–363.
- [3] Gürcan F, Wilson MCT, Savage MD. Eddy genesis and transformation of Stokes flow in a double-lid-driven cavity. Part 2: Deep cavities. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 2006;220:1765–1773.
- [4] Gaskell PH, Savage MD, Wilson M. Stokes flow in a half-filled annulus between rotating coaxial cylinders. *J. Fluid Mech.* 1997;337:263–282.
- [5] Gürcan F, Bilgil H. Bifurcations and eddy genesis of Stokes flow within a sectorial cavity. *Eur. J. Mech. B/Fluids* 2013;39:42–51.
- [6] Gürcan F, Bilgil H, Şahin A. Bifurcations and eddy genesis of Stokes flow within a sectorial cavity PART II: Co-moving lids. *Eur. J. Mech. B/Fluids* [Internet] 2016;56:200–210. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.euromechflu.2012.11.002>
- [7] McQuain WD, Ribbens CJ, Wang CY, Watson LT. Steady viscous flow in a trapezoidal cavity. *Comput. Fluids* 1994;23:613–626.
- [8] Erturk E, Gokcol O. Fine Grid Numerical Solutions of Triangular Cavity Flow. *Appl. Phys.* [Internet] 2005;38:97–105. Available from: <http://arxiv.org/abs/physics/0502149>
- [9] Bilgil H, Gürcan F. Effect of the Reynolds number on flow bifurcations and eddy genesis in a lid-driven sectorial cavity. *Jpn. J. Ind. Appl. Math.* 2016;33:343–360.
- [10] Deliceoğlu A, Aydın SH. Flow bifurcation and eddy genesis in an L-shaped cavity. *Comput. Fluids* 2013;73:24–46.
- [11] Deliceoğlu A, Aydın SH. Topological flow structures in an L-shaped cavity with horizontal motion of the upper lid. *J. Comput. Appl. Math.* [Internet] 2014;259:937–943. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cam.2013.10.007>
- [12] Mitchell AR. Finite elements: An introduction. Volume 1, E. B. Becker, G. F. Carey and J. T. Oden, Prentice-Hall. *Int. J. Numer. Methods Eng.* [Internet] 1982;18:954–955. Available from: <https://doi.org/10.1002/nme.1620180613>
- [13] Brøns M, Hartnack JN. Streamline topologies near simple degenerate critical points in two-dimensional flow away from boundaries. *Phys. Fluids* 1999;11:314–324.
- [14] Gürcan F, Deliceoğlu A, Bakker PG. Streamline topologies near a non-simple degenerate critical point close to a stationary wall using normal forms. *J. Fluid Mech.* 2005;539:299–311.
- [15] Hartnack JN. Streamline topologies near a fixed wall using normal forms. *Acta Mech.* 1999;136:55–75.

Barut Ağacı Kabuğu'nun (*Rhamnus Frangula L.*) Bazı Tekstil Materyallerini Boyayabilme Özelliklerinin Araştırılması

Hüseyin Benli¹ 

*¹Kayseri Üniversitesi Mustafa Çıkrıkçıoğlu M.Y.O. Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, KAYSERİ

(Alınış / Received: 08.07.2020, Kabul / Accepted: 19.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Barut ağacı kabuğu,
Rhamnus Frangula,
Emodin,
Antrakinon,
Boyama

Öz: Barut ağacı kabuğu (BAK) çoğunlukla bağırsak florasının düzenlenmesinde, kesik ve yaralarda tonik olarak geleneksel tıpta ve eczacılıkta sıkça kullanılan doğal bir bitkisel kaynaktır ve son yıllarda yapılan araştırmalarda anti-kanserojen, anti-oksidan, anti-bakteriyel gibi birçok özelliklerinin de olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, BAK'ın doğal bir boyarmadde kaynağı olup olamayacağını test etmek için en önemli tekstil malzemelerinden biri olan pamuklu ve yünlü kumaşların boyama özellikleri araştırılmıştır. Boyama işlemleri hem mordansız (metal tuzu kullanılmadan) hem de 4 farklı metal tuzu ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $K_2Cr_2O_7$) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyamalar laboratuvar şartlarında HT makinada 100°C'de 60 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Mordanlı yapılan çalışmalarda birlikte mordanlama yöntemi kullanılmıştır. Boyamalardan sonra elde edilen numunelere yıkama, sürtme, ter ve ışık haslık testleri uygulanmıştır. CIE $L^*a^*b^*$ ve K/S değerleri Konica Minolta 3600d spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüştür. BAK'a ait çözeltinin UV görünür bölge spektrumu VWR spektrofotometre 3100PC ve FTIR spektrumu ise Perkin Elmer 400 spektrometresi kullanılarak tespit edilmiştir. Boyama renk verimleri ve diğer test sonuçları birlikte değerlendirildiğinde Barut ağacı kabuğunun selülozik ve protein esaslı tekstil materyallerini renklendirebileceği tespit edilmiş olup bu bitkisel kaynağın doğal bir boyarmadde kaynağı olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

The Dyeing Properties of Frangula Bark (*Rhamnus Frangula L.*) On the Some Textile Materials

Keywords

Frangula Bark,
Rhamnus Frangula,
Emodin,
Anthraquinone,
Dyeing

Abstract: Frangula bark is a natural herbal resource commonly used in traditional medicine as a tonic for the regulation of intestinal flora, cuts and wounds, and it has been found that anti-carcinogen, anti-oxidant and anti-bacterial properties have been used in recent years. This study was conducted on the dyeing properties of cotton and wool fabrics which are the most used textile materials of Frangula bark as a source of natural dyestuff. The dyeing processes were carried out both without mordant and using 4 different metal salts ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $K_2Cr_2O_7$). The dyeing was carried out on HT machine at 100°C for 60 minutes under laboratory conditions. Simultaneously mordanting method was used in the studies using mordant agents. After dyeing, washing, rubbing, perspiration and light fastness tests were applied to the samples obtained. CIE $L^*a^*b^*$ and K/S values were collected using Konica Minolta 3600d spectrophotometer. The UV visible region spectrum of BAK solutions was determined by VWR spectrophotometer 3100PC and FTIR spectrum by Perkin Elmer 400 spectrometer. The dyeing and other test results, it is predicted that Frangula bark can color cellulosic and protein-based textile materials and this plant source could be a natural source of dyes.

*İlgili Yazar, email: hbenli@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Doğal boyalar yaygın olarak tekstil, gıda, ilaç ve kozmetik sanayinde kullanım alanı bulmuş olup, aynı zamanda az miktarda da olsa kâğıt, deri, ayakkabı parlatma, ağaç, mum, bambu gibi maddelerin de renklendirilmesinde

kullanılmaktadır. 1856 yılında William Henry Perkin tarafından mauvein'nin sentezi ve böylece sentetik boyarmaddelerin ticarileşmesiyle birlikte doğal boyarmaddelerin kullanılmaları azalmıştır [1].

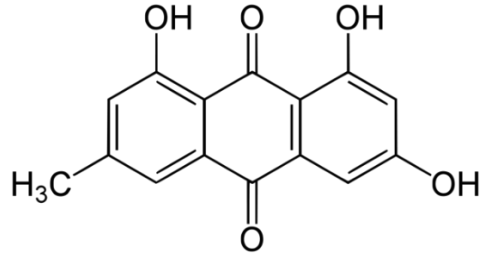
Tekstil işletmelerinin özellikle boya terbiye bölümlerinde çok miktarda kimyasal esaslı, insan vücuduna zararlı, alerjik ve toksik atıkları olan sentetik boyarmaddeler kullanılmaktadır. Sentetik boyarmaddeler çok iyi performans göstermelerine rağmen, son yıllarda çok sayıda çalışmada bu boyarmaddelere alternatif olabilecek geniş uygulama alanı olan, çevre dostu, antialerjik, toksik olmayan boyarmaddeler [2] ile tekstil materyallerinin renklendirilmesi çabalarına rastlamak mümkündür. Bu çabalardan biri belki de en önemlisi sentetik boyarmaddelerin yaygınlaşmasıyla birlikte önemlerini kaybeden doğal boyarmaddelerin yeniden gün yüzüne çıkartılması ve yaygınlaştırılması çabalarıdır. Halihazırda bilinen doğal boyarmaddeler bitkisel, hayvansal ve mineral [3] esaslı olup bunlardan en çok tercih edilen boyarmadde grubu ise bitkisel kökenli [4] doğal boyarmaddelerdir. Günümüzde bilinen çok sayıda bitkisel esaslı boyarmadde vardır. Genellikle bitkilerin kök, sap, dal, yaprak, kabuk, çiçek, çekirdek, meyve gibi çok farklı bölgelerinden yararlanılmaktadır [5, 6]. Bitkilerde yaygın olarak bulunan ve ikincil metabolizma ürünü olarak ifade edilen fenolik bileşikler; fenolik asitler ve flavonoidler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar [7]. Bu yapılardan en önemli olanı antosiyanin olarak da bilinen flavonoidler olup bu yapıların bitkilerin renkleri ile ilişkili ve sorumlu oldukları ve özellikle de birçok bitkideki kırmızı, mavi ve mor renklerin üretilmesinden sorumlu oldukları bildirilmiştir. Bitkiler bulundukları çevrede don, kuraklık, fungal/mikrobiyal faaliyetler ve en önemlisi de UV radyasyon gibi dış etkenlere maruz kalmaktadırlar. Bitkiler, bu tür dış etkenlere karşı kendilerini korumak için bünyelerinde flavonoidleri üretmektedir [8]. Bu nedenle, bitkisel esaslı doğal boyarmadde kaynaklarının son yıllarda tekstil maddelerini boyayabilme kabiliyetlerinin [9-13] yanı sıra antimikrobiyal [14-18], antioksidan [19], antiviral [20], UV koruyuculuk [21, 22] gibi birçok özelliğinin de keşfedilmesiyle birlikte doğal boyarmaddeler kullanılarak tekstil materyali sadece renklendirilmekle kalmamış aynı zamanda yukarıda sayılan özelliklerin de aktarılmasıyla birlikte tekstil yüzeyine artı bir katma değer kazandırılmıştır. Bu bağlamda son zamanlarda yapılan araştırmalara verilebilecek bazı örnekler şunlardır. Meyan kökü (*Glycyrrhiza glabra L.*) bitkisi [23], Ebegümeci bitkisi [24], Altın otu (*Helichrysum Arenarium*) [25] gibi bitkisel kaynaklar kullanılarak yünlü kumaşların renklendirilebileceği bildiren yenilikçi yaklaşımlarla ilgili araştırmalara sıklıkla rastlamak mümkündür.

Bu çalışmada ise, daha çok tıbbi özellikleri ön plana çıkmış olan Barut ağacı kabuklarının (BAK) (Şekil 1 (a)) boyama özellikleri araştırılmıştır. Geleneksel tıpta çok kullanılan *Rhamnus fangula L.* olarak da bilinen Barut ağacı kabuklarında çok miktarda Emodin (Şekil 1 (b)) [26-33] adı verilen antrakinon esaslı aromatik hidrokarbon ve benzeri yapılar (chrysophanol, physcione) bulunmaktadır. Antrakinonlar doğada hem serbest hem de glikozitleri şeklinde yaygın olarak bulunabilmektedir [27]. Antrakinonlar, bazı doğal kaynaklarda bol miktarda bulunan bir bileşik olup özellikle bakteri, mantar, bitki ve bazı hayvanlarda görülmektedir. Bitkiler sınıfında yaklaşık 200 farklı bileşiğin olduğu ve bunların bitkilerin köklerinde, çiçeklerinde ve meyvelerinde bulundukları bildirilmiştir [30]. Doğal antrakinonlar 1,3,8-trihidroksi-6-metilantrakinonun türevleri olup aynı zamanda doğal fenolik bileşikler grubunun da bir üyesidir [31]. Polifenolik gruplardan biri olan Antrakinonları içeren bitki özütleri, geniş terapötik ve farmakolojik etkileri nedeniyle gıda, kozmetik ve farmasötikler için giderek daha fazla alanda kullanılmaktadır ve çeşitli hastalıklara (özellikle kardiyovasküler ve kanser) karşı potansiyel koruyucular olarak büyük ilgi görmektedir [29, 34]. Müshil olarak bilinen ve aynı zamanda katartik, depuratif ve idrar söktürücü aktiviteye sahip olan bitkinin bazı mantarlara karşıda antifungal bir etki gösterdiği bildirilmiştir [28]. BAK'ın yapısında bulunan Emodin'in antiviral [35], antimikrobiyal, antifungal [36, 28], antidiüretik [37, 38], anti-kanserojen [30, 39-43], gibi güçlü biyolojik etkilere sahip oldukları ve aynı zamanda beyin hasarına karşı beyni korumada önemli bir rol oynadığı da ayrıca bildirilmiştir [29].

Yukarıda da görüldüğü üzere BAK'ın geleneksel tıpta çok geniş bir kullanım alanı olabileceğine dair çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmada ise özellikle BAK'ın pamuk ve yün gibi farklı tekstil materyallerini boyayıp boyayamayacağı laboratuvar şartlarında test edilmiştir.



(a)



(b) Emodin (1,3,8-trihidroksi-6-metilantrakinon)

Şekil 1. Barut ağacı kabuğu (a) ve bilinen en önemli kimyasal yapılardan biri olan Emodin (b)

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada doğal boyarmadde kaynağı olarak yerel marketten temin edilen kuru formda BAK kullanılmıştır. Kabuklar kullanılmadan önce değirmende (Waring) öğütülerek toz haline getirilmiştir. Denemelerde 250 g/m² ağırlığında %100 dokuma pamuklu kumaş, 40/1 numara pamuk iplik ve 250 g/m² ağırlığında dokuma yünlü kumaş kullanılmıştır. Dokuma kumaşlar ve iplik boyanmadan önce Tablo 1'de verilen ön terbiye işlemi [44] yapıldıktan sonra boyama işleminde kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan α -amilaz, ıslatıcı, NaOH, Na₂CO₃, KAl(SO₄)₂·12H₂O, CuSO₄·5H₂O, FeSO₄·7H₂O, K₂Cr₂O₇ kimyasallar analitik saflıktadır.

Tablo 1. Geleneksel ön terbiye işlem prosedürü

Materyal	Ön Terbiye İşlemi	Kimyasallar	Miktar	Banyo Oranı	pH	Sıcaklık (°C)	Süre (Dakika)
	Haşıl sökme	α -amilaz Non-iyonik ıslatıcı	5 g/L 1 g/L	1:20	6	60	60
Pamuk kumaş/ İplik	Pişirme	NaOH Na ₂ CO ₃ Non-iyonik ıslatıcı	5 g/L 2 g/L 5 ml/L	1:20	10.5–11	95	60
	Ağartma	H ₂ O ₂ (%35) NaOH Stabilizatör	5 ml/L 1 gr/L 1 ml/L	1:20	9-10.5	95	60
Yün kumaş	Yıkama	Non-iyonik ıslatıcı	1 g/L	1:20	6-7	50	10

2.2. Metot

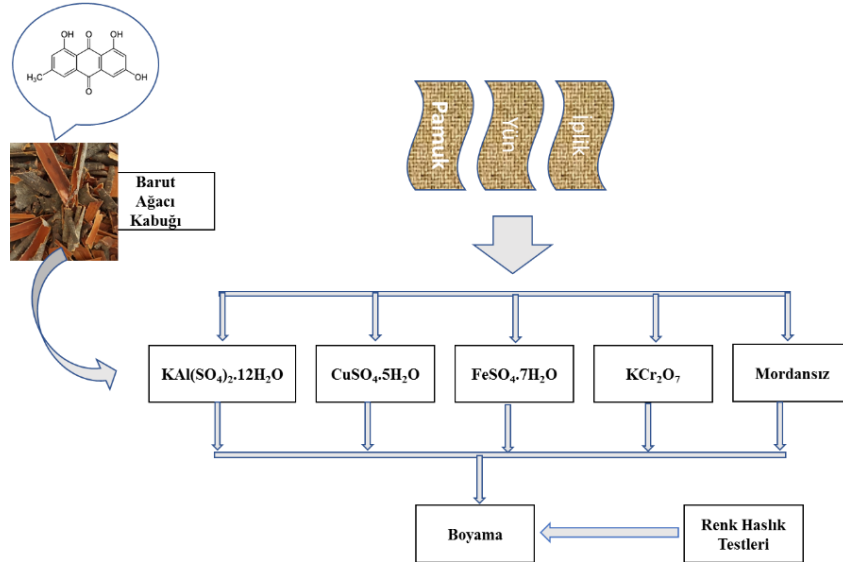
Boyanacak tekstil yüzeylerini boyamaya hazır hale getirmek için boyama işlemlerine geçilmeden önce numunelere Tablo 1'de gösterilen ön terbiye işlemleri uygulanmıştır. Dokuma pamuklu kumaşın yapısında bulunan haşıl maddesinin uzaklaştırılması için haşıl sökme işlemi yapıldıktan sonra iyot/potasyum iyodür çözeltisi kullanılarak haşıl sökme oranı test edilmiştir. Nişasta maddesinin iyot çözeltisi ile yapmış olduğu reaksiyon sonucu ortaya çıkan sonuç için Tegewa violet skalası kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Aynı zamanda pamuklu kumaşlar için önemli olan ve pamuğun doğasından gelen yağları, vaksları vb. yapıları uzaklaştırmak için yapılan pişirme işleminin sonunda kumaşın sahip olduğu su emme yeteneğini test etmek için dikey hidrofilite testi uygulanmıştır [45]. Ayrıca, ağartma sonrasında ise kumaşların ulaşılmış olduğu beyazlık derecesi Konica Minolta 3600d Model spektrofotometrede Stensby formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Pamuk iplik için Tablo 1'de gösterilen ağartma işlemi ve yünlü kumaş için ise yıkama işlemleri gerçekleştirilmiştir. İşlemler sonunda iplik ve kumaş numuneleri oda sıcaklığında kurutulmuştur.

2.2.1. Birlikte Mordanlama Yöntemi

Bu çalışmada birlikte mordanlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde boyarmadde kaynağı, boyanacak materyal ve kullanılacak metal tuzu birlikte aynı banyo içinde işleme tabi tutulmaktadır. Mordan maddeleri boyanacak materyal ağırlığı üzerinden şap için %20 diğerleri için ise %3 konsantrasyonda $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ve $K_2Cr_2O_7$ [2, 6] olacak şekilde kullanılmıştır.

2.2.2. Boyama Yöntemi

Boyama denemeleri hem mordan maddesi kullanılmadan hem de 4 farklı mordan maddesi [5] kullanılarak yapılmıştır. Krom ve bakır tuzu gibi bazı metal tuzlarının kullanılması pek önerilmese de çalışmanın bütünsel olarak bu tür metaller ile nasıl bir renk elde edilebileceğinin görülmesi açısından ilgili tuzlarla çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda birlikte mordanlama yöntemi kullanıldığı için aynı boyama banyosunda boyanacak materyal, metal tuzu ve boyarmadde kaynağı birlikte kullanılmıştır. Tüm boyama denemelerinde kullanılan boyarmadde kaynağı miktarı boyanacak materyalin ağırlığına eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Yani 1:1 (materyal/BAK) olacak şekilde denemeler planlanmış ve uygulanmıştır. Yapılan denemeler için özet şablon Şekil 2'de sunulmuştur. Tüm boyama denemeleri laboratuvar tipi HT boyama makinasında gerçekleştirilmiştir. Boyama işlemlerinde flotte oran 1/40 olarak hesaplanmıştır. Boyamaya oda sıcaklığında başlanmış olup, 1,5 °C/dk ısıtma hızı ile 100°C'ye ulaşıldıktan sonra bu sıcaklıkta 1 saat boyama işlemine devam edilmiş ve sonra banyo boşaltılarak yıkama/durulama işlemine geçilmiştir. Taşmalı yıkama-ılık yıkama-sabunlu yıkama (100°C'de 1 g/lit non-iyonik yıkama maddesi)-sıcak yıkama-soğuk yıkama-kurutma adımları ile yıkama işlemleri sona erdirilmiştir.



Şekil 2. Tüm denemeler için hazırlanmış şematik deney planı

2.2.3. CIE $L^*a^*b^*$ Renk ölçümleri

Boyanmış tüm denemelerin CIE $L^*a^*b^*$ değerleri Konica Minolta 3600d Model spektrofotometre L^* , a^* , b^* , C^* ve h° D65/10° ışık kaynağında hesaplanmıştır. K/S renk değerleri ise Kubelka-Munk denkleminde (Denk.1) göre hesaplanmıştır [46]. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

$$K/S = (1-R)/2R \quad (1)$$

Burada; K: absorpsiyon katsayısı; S: saçılma katsayısı; R:reflektans dır. CIE $L^*a^*b^*$ renk uzayında, L^* açıklık ve koyuluğu; yani $L^*=100$ ise mükemmel beyazlığı, $L^*=0$ ise mükemmel siyahlığı ifade eder. $a^*>0$ ise kırmızılık, $a^*<0$ ise yeşillik; $b^*>0$ ise sarılık ve $b^*<0$ olması durumunda ise mavilik söz konusudur. Kırmızıdan sarıya doğru artış gösteren dönme açısı " h° " (derece cinsinden), rengin bir ölçüsüdür.

2.2.4. Renk Haslık Testleri

Tüm boyanmış renkli numuneler için ışık Haslığı [47], Yıkama Haslığı [48], Sürtme Haslığı [49] ve Ter Haslığı [50] test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'de sunulmuştur.

2.2.4. UV-Vis Spektrofotometrik ölçümleri

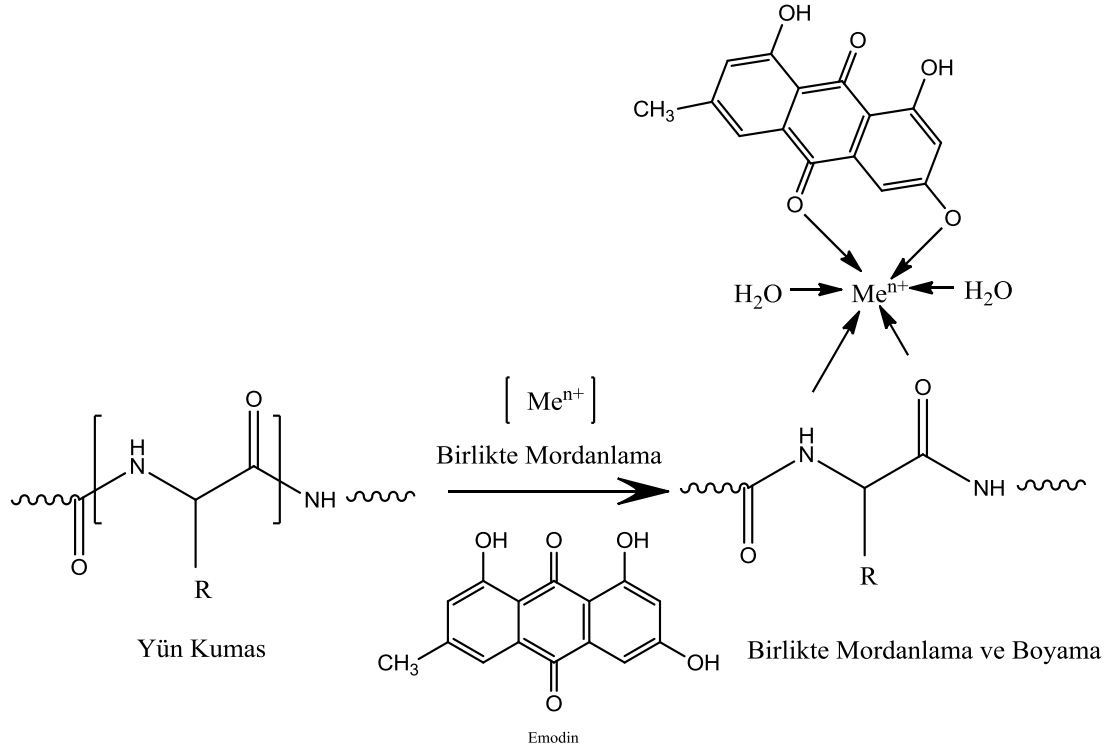
BAK'dan elde edilen sulu boyarmadde çözeltisi UV-3100PC spektrofotometri (VWR) cihazı ile UV-görünür bölge spektrumu 200-800 nm (1 nm step) aralığında tespit edildi. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'de sunulmuştur.

2.2.5. FTIR ölçümleri

Boyarmadde kaynağı olarak kullanılan BAK'ın FTIR verileri Perkin Elmer 400 FT-IR spektrometre kullanılarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6'de sunulmuştur.

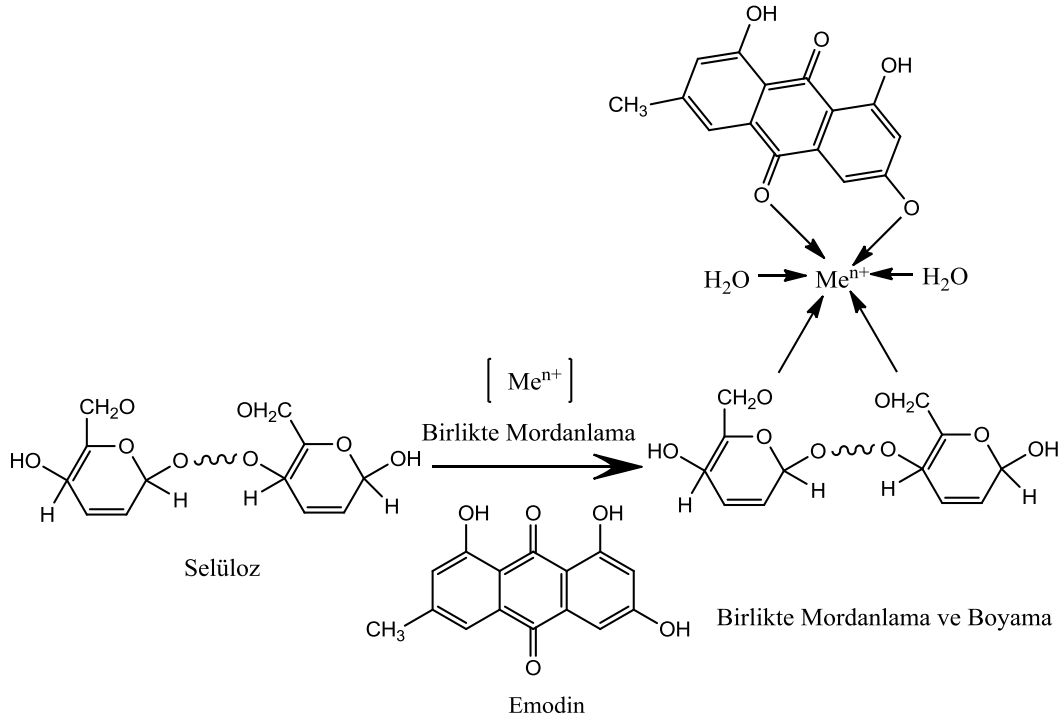
3. Bulgular

Selüloz esaslı pamuklu kumaşlar bünyesinde çok fazla miktarda yabancı madde içerir. Bunların uygun yöntemlerle uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada da özellikle pamuklu kumaşlara haşıl sökme, pişirme ve ağartma prosesleri uygulanarak homojen bir boyama yüzeyi elde edilmeye çalışılmıştır. Tablo 1'de sunulan ön terbiye işlemlerinin ilki haşıl sökmedir. Geleneksel Amilaz enzimi kullanılarak dokuma kumaşa bulunan nişasta esaslı haşıl maddeleri uzaklaştırılmıştır. İşlem sonunda sökülen haşıl miktarı daha önceden hazırlanmış I_2/KI çözeltisi kumaş üzerine damlatılarak meydana gelen renk değişiminin Tegewa violet (1-9) skalasındaki sayısal değeri tespit edilmiştir. İşlem sonunda elde edilen değer 5 dir. Yine haşıl sökme işlemi ile kumaşa meydana gelen hidrofilite değeri ise 7 (mm/90 saniye) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, kumaşa meydana gelen beyazlık değişimini ise 53,5 (Stensby) olduğu görülmüştür. Diğer bir işlem olan pişirme ile kumaşa meydana gelen haşıl sökme, hidrofilite ve beyazlık değişimleri sırasıyla 6, 18 ve 58 olarak tespit edilmiştir. Ve son olarak ağartma işlemi ile birlikte kumaşa meydana gelen haşıl sökme, hidrofilite ve beyazlık değişimleri sırasıyla 8, 23 ve 79,88 değerlerine ulaşmıştır. Boyanacak pamuklu bir dokuma kumaş için elde edilen bu değerler kabul edilebilir sınırlar dahilinde bulunmaktadır. Benzer sonuçlar önceki çalışmamızda da elde edilmiştir [44]. Pamuklu iplik için yalnızca pişirme ve ağartma işlemleri uygulanmıştır. Pişirme ve ağartma işlemleri sonunda beyazlık derecesi 55,5 ve 76,89 (Stensby), hidrofilite değeri ise 17 ve 25 (mm/90 saniye) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, yünlü dokuma kumaş sadece yıkanmak suretiyle boyama işlemine hazır hale gelmişlerdir. Bu çalışmada boyarmadde kaynağı olarak kullanılan BAK'ın yapısında bulunan en önemli kimyasal yapılardan biri olan Emodin'in (Şekil 1 (b)) mordan maddesi ile yapmış olduğu kompleks bileşik Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. Protein esaslı tekstil materyali için birlikte mordanlama ve boyama mekanizması

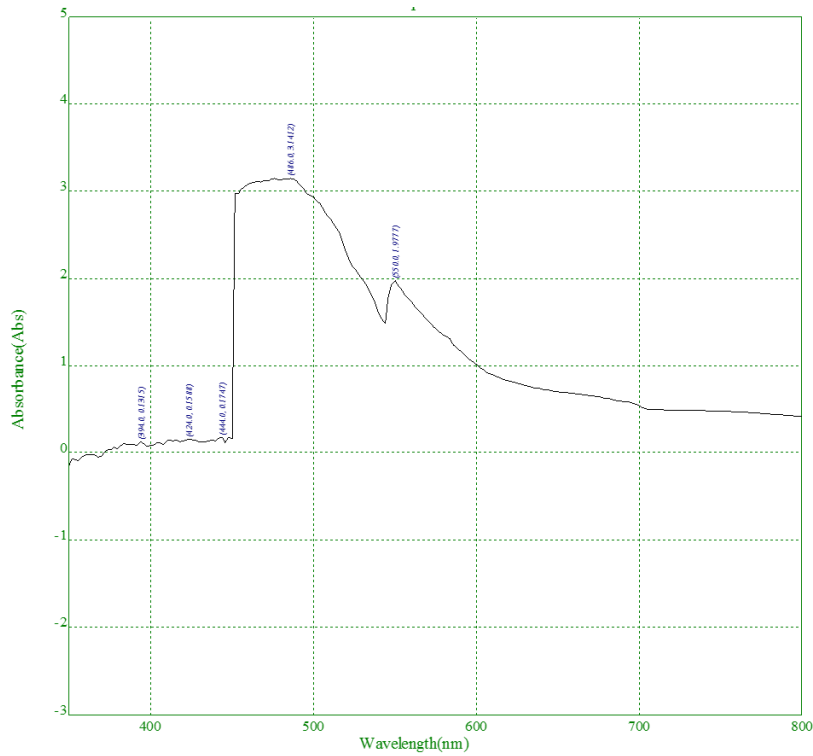
Birlikte mordanlama esasına göre yapılan işlem de esasen metal tuzu, boyarmadde kaynağı ve yünün aktif bölgeleri karmaşık bir ilişki içerisinde bulunarak, ısının da etkisiyle boyama işlemi gerçekleşmektedir. Benzer bir karmaşık yapılar zinciri Şekil 4'de gösterildiği gibi selüloz ile de gerçekleşmektedir. Genellikle boyarmadde ve materyal arasındaki bu bağlar H köprüleri üzerinden gerçekleştiği bildirilmektedir [51].



Şekil 4. Selüloz esaslı tekstil materyali için birlikte mordanlama ve boyama mekanizması

3.1. BAK'a ait UV-Vis Spektrofotometrik ölçümleri

Çalışmanın bu kısmında BAK'ın sulu ortamda ekstraksiyonu yapılarak çözeltisi elde edilmiştir. 1 gram öğütülmüş bitki 100 ml 90°C su içerisinde 60 dakika bekletilip soğutulduktan sonra spektral ölçümler yapılmıştır. Elde edilen bu çözeltiden UV-görünür bölge spektrumu alınmıştır. Şekil 5'de görüldüğü üzere 486 ve 550 nm civarında iki pik ön plana çıkmıştır. 440 – 450 nm aralığında Emodin'e ait absorpsiyon piklerinin bulunduğu bildirilmiştir [52].

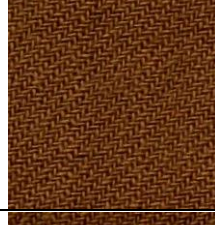
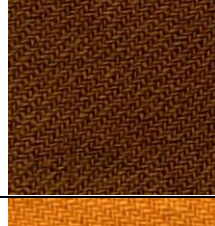
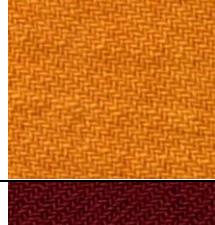
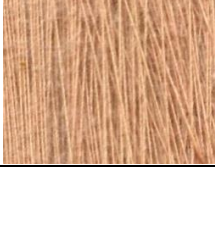
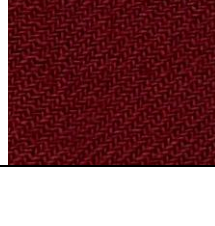


Şekil 5. BAK'ın UV-görünür bölge spektrumu

3.2. Boyanmış numunelere ait K/S ve $CIE L^*a^*b^*$ değerleri

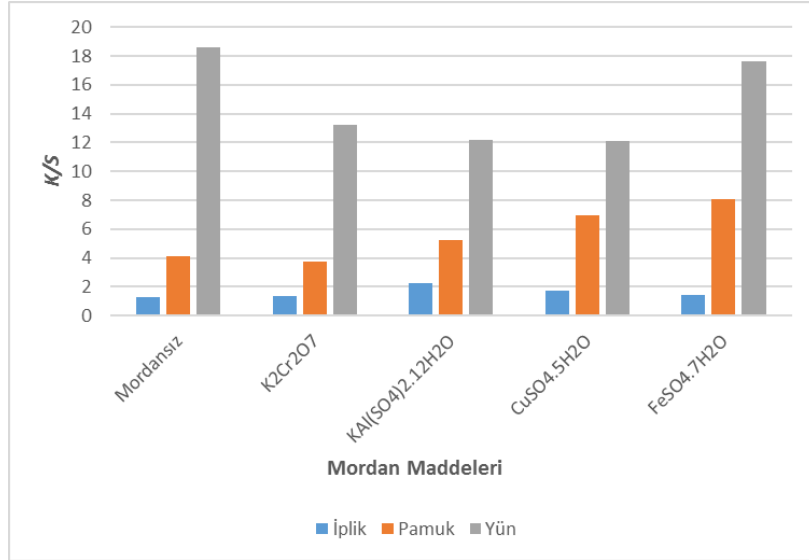
BAK'ın yapısında bulunan antrakinon esaslı yapılardan biri olan emodin ile tekstil maddelerinin çok farklı renkler ile renklendirilebileceği Tablo 1'de açıkça görülmektedir. Ayrıca herhangi bir metal tuzu kullanılmadan da tekstil liflerinin renklendirilebilmesi olanağı çevre dostu üretim süreçlerinde de kullanılabileceğini net bir şekilde göstermektedir. Mordansız boyama olarak ifade edilebilen ve 1/1 ölçeklerinde (materyal ağırlığı/bitki ağırlığı) yapılan bu boyama ile ön terbiye işlemi görmüş olan iplik ve pamuklu dokuma kumaş pembe renk tonlarında, yünlü kumaş ise hardal rengine boyanabileceği görülmüştür. Boyarmadde kaynağı olarak kullanılan BAK miktarı artırılarak daha koyu tonda, azaltılarak daha açık tonlarda renkler elde edilebilecektir. Metal tuzu kullanılarak yapılan çalışmalarda ise çok daha farklı renk tonları elde edilmiştir. Bakır iyonları ile yapılan denemelerden iplik açık bej, pamuk ve yün ise bakır sarısı renklere boyanmışlardır. Demir iyonları kullanılması durumunda iplik açık bej, pamuk hâkî ve yün ise kahverengine boyanmıştır. Alüminyum iyonlarıyla yapılan denemelerde ise iplik sarı, pamuk koyu bej ve yün ise hardal sarısı renge boyanmıştır. Krom iyonları kullanıldığı zaman ise iplik açık kahverengi, pamuk koyu kahve ve yün ise bordo rengine boyanmıştır. Boyarmadde kaynağı olarak kullanılan BAK miktarı artırılarak daha koyu tonda, azaltılarak daha açık tonlarda renkler, aynı şekilde kullanılan metal tuzlarının miktarının artırılması veya azaltılması veya değiştirilmesi durumlarında da çok farklı renk tonlarının elde edilebileceği görülmektedir. Bitkisel boyarmadde kaynaklarının en ilginç ve güzel yanlarından biri de bu değişken yapıların aynı bitkisel kaynak kullanılarak gerçekleştirilebilmesidir. Bu durum doğal boyarmadde kullanan boyahaneleri için esnek ve pratik bir iş akışı anlamı da gelebilmektedir.

Tablo 1. Mordansız ve dört farklı mordan maddesi kullanılarak BAK ile boyanmış iplik/pamuk/yünden elde edilen renkler

Mordan Maddeleri	Pamuk İplik	Pamuklu Kumaş	Yünlü Kumaş
Mordansız			
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$			
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			
$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$			
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$			

Tablo 2'de sunulan boyanmış numunelerden elde edilen K/S değerleri (Şekil 6) incelendiğinde, en yüksek değer 18,62 ile mordansız boyanmış yün kumaşa ve en düşük değer ise 1,31 ile mordansız boyanmış iplik numunesine aittir. Genel olarak K/S değerleri incelendiğinde yünlü kumaşların değerleri daha yüksek iken, iplik numunelerinin değerleri ise daha düşük değerlerde görülmektedir. Yünlü kumaşlara ait değerlerin daha yüksek olmasının en önemli nedeni yünün kimyasal yapısında bulunan aktif uçların ($-NH_2$, $-COOH$, $-OH$ gibi) çok farklılık göstermesinin neden olabileceği düşünülmektedir.

Renkler L^* açıklık-koyuluk açısından sonuçlar değerlendirildiğinde; 29,57 ile en koyu renk tonuna sahip olan krom iyonları ile mordanlanarak boyanmış yünlü kumaşa ait iken, en açık renk tonuna sahip olan numune ise 66,45 ile alüminyum iyonları ile mordanlanarak boyanmış iplik numunesinden elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında ise iplik numunelerinin daha açık renk tonlarına, yünlü kumaşların ise daha koyu renk tonlarına sahip oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 6. Boyanmış numuneler ait karşılaştırmalı K/S değerleri

CIE $L^*a^*b^*$ renk uzayında kırmızı rengin bir göstergesi olan a^* değerleri incelendiğinde en yüksek a^* değeri 22,03 ile krom iyonları ile mordanlanarak boyanmış yünlü kumaş numunesine ait iken, en düşük a^* değeri ise 6,43 ile bakır iyonları ile mordanlanarak boyanmış iplik numunesine ait olduğu tespit edilmiştir.

Aynı şekilde CIE $L^*a^*b^*$ renk uzayında sarı rengin bir göstergesi olan b^* değerleri incelendiğinde ise en yüksek 48,15 ile alüminyum iyonları ile mordanlanarak boyanmış yünlü kumaşa ait iken, en düşük b^* değeri ise 10,25 ile krom iyonları ile mordanlanarak boyanmış yünlü kumaştan elde edilmiştir.

Kroma (C^*) değerleri üzerinden sonuçlar incelendiğinde; en yüksek C^* değeri 50,42 ile alüminyum iyonları ile mordanlanarak boyanmış yünlü kumaş numunesinden elde edilirken, en düşük C^* değeri ise 13,66 ile demir iyonları ile mordanlanarak boyanmış iplik numunesinden elde edilmiştir.

Boyanmış numunelerin h° açıları bakımından sonuçları değerlendirildiğinde ise, en yüksek h° açısı $72,73^\circ$ ile bakır iyonları ile mordanlanarak boyanmış yünlü kumaşa ait iken, en düşük h° açısı ise $48,63^\circ$ ile demir iyonları ile mordanlanarak boyanmış pamuklu kumaş numunesi ait olduğu tespit edilmiştir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde BAK ile boyanan ve farklı metal tuzları kullanılarak yapılan denemelerde kendi aralarında doğrudan bir ilişkinin varlığından söz etmek imkânsız gibi gözükmemektedir. Çok fazla değişkenden dolayı elde edilebilecek renk tonlarının da önemli ölçüde değişeceği düşünülmektedir. Bu durum ise doğal boyamacılığı en önemli zaaflarından biri olarak görülebilir.

Tablo 2. Mordansız ve dört farklı mordan maddesi kullanılarak BAK ile boyanmış iplik/pamuk/yünden elde edilen CIE $L^*a^*b^*$ renk ve K/S değerleri

	CIE $L^*a^*b^*$	Mordansız	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	$K_2Cr_2O_7$
Pamuk İplik	K/S	1,31	2,29	1,72	1,4	1,34
	L^*	65,12	66,45	61,76	64,95	65,87
	a^*	9,53	11,51	6,43	4,24	10,38
	b^*	15,99	30,54	14,73	12,98	17,51
	C^*	18,61	32,64	16,08	13,66	20,35
	h°	59,19	69,34	66,41	71,93	59,33
Pamuk Kumaş	K/S	4,15	5,22	6,97	8,09	3,73
	L^*	48,12	50,01	40,47	40,03	49,61
	a^*	9,73	9,92	15,17	7,37	14,4
	b^*	14,28	23,44	17,22	17,44	16,68
	C^*	17,28	25,45	22,95	18,94	22,03
	h°	55,74	67,06	48,63	67,09	49,21
Yün Kumaş	K/S	18,62	12,18	12,11	17,67	13,26
	L^*	39,97	55,63	38,25	34,82	29,57
	a^*	12,25	14,97	12,04	9,58	22,03
	b^*	32,46	48,15	21,82	23,94	10,25
	C^*	34,7	50,42	24,92	25,78	24,3
	h°	69,32	72,73	61,1	68,19	24,96

Boyanmış numunelere dört farklı haslık testi uygulanmıştır. Bunlar yıkama, sürtme, ter ve ışık haslık testleridir. Elde edilen sonuçlar ise Tablo 3'de sunulmuştur. Yıkama haslıkları açısından sonuçlar hem lekeleme hem de renk değişimi bakımından 4 – 5 puan aralığında tespit edilmiştir. Mordan maddesinin değişmesi yıkama haslık sonuçlarını olumsuz yönde etkilememiştir.

Tablo 3. Mordansız ve dört farklı mordan maddesi kullanılarak BAK ile boyanmış iplik/pamuk/yünün renk haslık değerleri

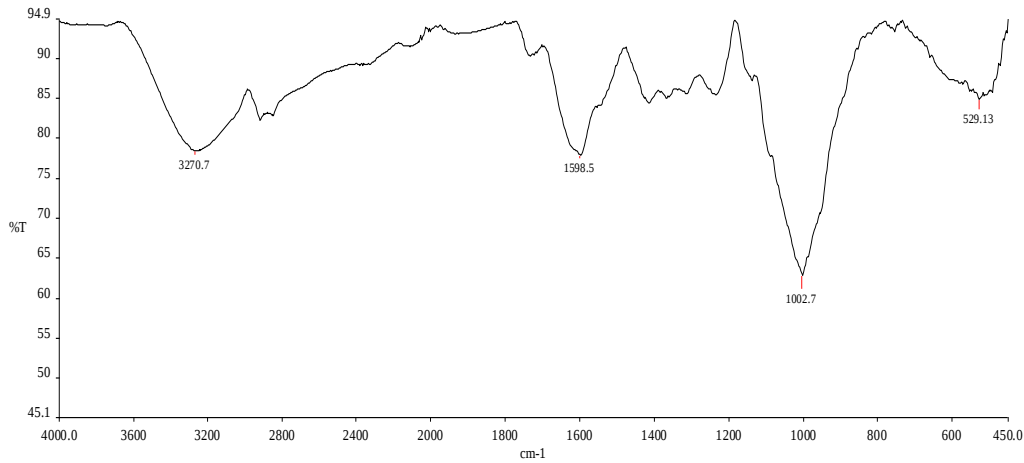
Materyal	Mordan Tipi	Yıkama Haslığı		Sürtme Haslığı		Ter Haslığı				Işık Haslığı
		L	R	Y	K	Asidik		Bazık		
						L	R	L	R	
Pamuk İplik	Mordansız	4	4/5	4	4/5	4	5	4/5	5	2
	FeSO ₄ .7H ₂ O	4	5	4/5	5	4/5	5	5	5	3
	CuSO ₄ .5H ₂ O	4	5	4	5	4/5	5	5	5	3
	K ₂ Cr ₂ O ₇	4/5	5	4	5	5	5	5	5	3
	KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	4/5	5	4	5	5	5	4/5	5	3
Pamuk Kumaş	Mordansız	4/5	5	4	5	5	5	4/5	5	2
	FeSO ₄ .7H ₂ O	5	5	4/5	5	5	5	4/5	5	4
	CuSO ₄ .5H ₂ O	5	5	4/5	5	4/5	5	5	5	4
	K ₂ Cr ₂ O ₇	4/5	5	5	5	4/5	5	4/5	5	3
	KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	5	5	5	5	5	5	5	5	2/3
Yün Kumaş	Mordansız	5	5	4/5	5	4/5	5	5	5	4
	FeSO ₄ .7H ₂ O	5	5	5	5	5	5	4/5	5	4
	CuSO ₄ .5H ₂ O	5	5	5	5	5	5	5	5	4
	K ₂ Cr ₂ O ₇	5	5	5	5	5	5	5	5	4
	KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	5	5	5	5	4/5	5	5	5	4

L: Lekeleme, R: Renk değişim, Y:Yaş, K:Kuru

Sürtme haslıkları açısından sonuçlar incelendiğinde gerek yaş ve gerekse kuru sürtme haslıkları 4 – 5 puan aralığında tespit edilmiştir. Mordan maddesinin değişmesi sürtme haslıklarını olumsuz yönde etkilememiştir. Ter haslıkları açısından sonuçlar incelendiğinde gerek asidik ve gerekse bazik ter haslıkları 4/5 – 5 puan aralığında tespit edilmiştir. Mordan maddesinin değişmesi ter haslıklarını olumsuz yönde etkilememiştir. Her üç haslık testi içinde sonuçların çok iyi olduğu söylenebilir. Işık haslığını etkileyen faktörlerin başında, boyarmaddenin kimyasal yapısı ve fiziksel durumu, boya konsantrasyonu, boyanacak elyaf yapısı ve kullanılan mordan maddesinin tipleri olarak bildirilmektedir [53]. Işık haslıkları açısından bu çalışmanın sonuçları incelenecek olursa; 2 – 4 puan aralığında tespit edilmiştir. En düşük ışık haslık değeri 2 puan ile mordansız boyanmış pamuklu iplik ve kumaş numunelerinden elde edilmiştir. Metal tuzlarının kullanılmasıyla birlikte ışık haslıklarında 1-2 puanlık bir artış söz konusudur. Yünlü kumaş numunelerinin ışık haslık değerleri 4 puan olup selülozik materyallerinkinden 1-2 puan daha fazla olduğu görülmektedir. Boyanacak elyaf tipi değiştiği zaman ışık haslığının da değişebileceği bu çalışmada da tespit edilmiştir. Yapılan tüm renk haslık testleri sonucunda elde edilen sonuçların beklenen sonuçlar olduğu ve kabul edilebilir bir düzeyde olduğu düşünülmektedir.

3.3. FTIR Sonuçları

Şekil 7'da sunulmuş olan BAK'ın FTIR spektrumu 4000 – 600 cm^{-1} dalga boyları arasında tespit edilmiştir. Buna göre 3270 cm^{-1} civarında bulunan pikin O-H stretching, 1600 cm^{-1} civarında bulunan pikin C=O stretching, 1370 cm^{-1} civarında bulunan pikin O-H bending, 1000 ve 780 cm^{-1} civarında bulunan piklerin C-C stretching ile karakterize edilebilir. Benzer pikler Singh ve ard. (2012) tarafından da ifade edilmiştir [28].



Şekil 7. BAK'a ait FTIR spekturumu

4. Tartışma ve Sonuç

Geleneksel Tıp ve eczacılıkta kanser önleyici, antibakteriyel, idrar söktürücü, antifungal gibi ve aynı zamanda gıda ve kozmetik sanayinde de renklendirici özelliklerinden dolayı çok sık kullanılan Barut ağacı kabuğu'nun bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile pamuklu ve yünlü tekstil maddelerini boyayabilmesi nedeniyle bir boyarmadde kaynağı olabileceği sonucuna varılmıştır. Yapılan yıkama, sürtme, ter ve ışık haslık test sonuçlarının yanı sıra elde edilen $CIE L^*a^*b^*$ renk değerleri de bu tezi doğrular niteliktedir. Ayrıca ister mordan maddeleri kullanılarak ister kullanılmadan boyama işlemleri yapılarak farklı renk tonlarının elde edilebileceği görülmektedir. Bitkisel bir boyarmadde kaynağı olan BAK ile herhangi bir metal tuzu kullanılmadan da renklendirme yapılabileceği için çevre dostu bir üretim sürecinden de ayrıca bahsedilebilir. Böylece boya terbiye bölümleri için sentetik boyarmaddelere alternatif çevre dostu bir boyama/renclendirme süreci de sunulmaktadır. İleriki çalışmalarda keten, kenevir, poliamid, viskon, polyester gibi farklı tekstil materyalleri için de boyama denemelerinin yapılması önerilmektedir.

Kaynakça

- [1] Gulrajani, M. L. 2001. Present status of natural dyes. Indian Journal of Fibre and Textile Research, 26(2001), 191-201.
- [2] Samanta, A. K., Agarwal, P. 2009. Application of natural dyes on textiles. Indian Journal of Fibers & Textile Research, 34(2009), 384 -399.
- [3] Melo, M. J. 2009. History of Natural dyes in the Ancient Mediterranean World. Handbook of Natural Colorants, ed. 2009, Beckett, T., Mussak, R., Wiley.

- [4] Chengaiah, B., et al. 2010. Medicinal Importance of Natural Dyes-a Review. International Journal of PharmTech Research, 2(2010), 144-154.
- [5] Samanta, A. K., Konar, A. 2011. Dyeing of Textiles with Natural Dyes. Kumbasar, E. P. A. ed. 2011, Natural dyes, InTech, Croatia.
- [6] Karadağ, R. 2007. Doğal Boyamacılık, Dösim, Ankara, 128s.
- [7] Giusti, M. M., Wallace, T. C. 2009. Flavonoids as natural pigments. Bechtold T., Mussak R., ed. 2009, Handbook of natural colorants, John Wiley and Sons, Ltd., United Kingdom, pp.257-258.
- [8] Davulcu, A., et al. 2014. Dyeing of cotton with thyme and pomegranate peel. Cellulose, 21(2014), 4671-4680.
- [9] Benli, H., Bahtiyari, M. İ. 2015 (a). Use of ultrasound in biopreparation and natural dyeing of cotton fabric in a single bath. Cellulose, 22(2015), 867-877.
- [10] Benli, H., Bahtiyari, M. İ. 2016. Pamuklu kumaşların ozon-hidrojen peroksit kombinasyonu ile ağartılması ve doğal boyalar ile renklendirilmesi. Tekstil ve Mühendis, 23(2016), 189-196.
- [11] Benli, H. 2017. An investigation of dyeability of wool fabric with red cabbage (*Brassica oleracea L. var.*) extract. Industria Textila, 68(2017), 108-115.
- [12] Benli, H. 2017. A Study on the Dyeing Characteristic of Wool Fabric with American Ivy (*Parthenocissus Quinquefolia L.*). Tekstil ve Mühendis, 24(2017), 54-61.
- [13] Han, S., Yang, Y. 2005. Antimicrobial activity of wool fabric treated with curcumin. Dyes and Pigments, 64(2005), 157-161.
- [14] Singh, R., et al. 2005. Antimicrobial activity of some natural dyes. Dyes and Pigments, 66(2005), 99-102.
- [15] Gawish, S. M., et al. 2017. Effect of Mordant on UV Protection and Antimicrobial Activity of Cotton, Wool, Silk and Nylon Fabrics Dyed with Some Natural Dyes. Journal of Nanomedicine and Nanotechnology, 8(2017), 1-9.
- [16] Yılmaz, F., et al. 2020 (a). Use of *Viburnum Opulus L.* (Caprifoliaceae) in Dyeing and Antibacterial Finishing of Cotton. Journal of Natural Fibers, 17(2020), 1081-1088.
- [17] Yılmaz, F., et al. 2020 (b). Treatment of originally coloured wools with garlic stem extracts and zinc chloride to ensure anti-bacterial properties with limited colour changes. Coloration Technology, 136(2020), 147-152.
- [18] Andreeva, T. I., et al. 2004. Medicinal plants antioxidant activity of cranberry tree (*viburnum Opulus l.*) bark extract. Pharmaceutical Chemistry Journal, 38(2004), 548-550.
- [19] Şapcı, H., et al. 2017. Antimicrobial and antifungal activity of fabrics dyed with *viburnum opulus* and onion skins. International Journal of Secondary Metabolite, 4(2017), 280-284.
- [20] Grifoni, D., et al. 2009. Laboratory and Outdoor Assessment of UV Protection Offered by Flax and Hemp Fabrics Dyed with Natural Dyes. Photochemistry and Photobiology, 85(2009), 313-320.
- [21] Hou, X., et al. 2013. Dyeing and UV-protection properties of water extracts from orange peel. Journal of Cleaner Production, 52(2013), 410-419.
- [22] Van den Beg, A. J. J., Labadie, R. P. 1984. Anthraquinones, Anthrones and Dianthrones in Callus Cultures of *Rhamnus frangula* and *Rhamnus purshiana*. Planta Medica, 50(1984), 449-451.
- [23] Yılmaz, F. 2020 (a). Application of *Glycyrrhiza glabra L.* Root as a Natural Antibacterial Agent in Finishing of Textile. Industrial Crops and Products, 157(2020), 112899.
- [24] Yılmaz, F. 2020 (b). Ebegümeçi Bitkisinin Doğal Boyarmadde Olarak Kullanılması. Tekstil ve Mühendis, 27(2020), 84-90.
- [25] Yılmaz, F. (2020) (c). Doğal Boyamacılık Kapsamında Altın Otu (*Helichrysum Arenarium*) ile Yünlü Kumaşların Boyanması. Sanat Dergisi, 35(2020), 102-108.
- [26] Francis, G. W., Aksnes, D. W., Holt, Ø. 1998. Assignment of the ^1H and ^{13}C NMR spectra of anthraquinone glycosides from *Rhamnus frangula*. Magnetic Resonance in Chemistry, 36(1998), 769-772.

- [27] Manojlovic, N. T., Solujic, S., Sukdolak, S., Milosev, M. 2005. Antifungal activity of *Rubia tinctorum*, *Rhamnus frangula* and *Calopluca cerina*. *Fitoterapia*, 76(2005), 244-246.
- [28] Singh, D., Rawat, M. S. M., Semalty, A., Semalty, M. 2012. Emodin–phospholipid complex A potential of herbal drug in the novel drug delivery system. *Journal of Thermal Analysis Calorimetry*, 108(2012), 289-298.
- [29] Muñoz, G. D. et al. 2018. Chapter 11 - Anthraquinones: An Overview, *Studies in Natural Products Chemistry*, 58(2018), 313-338.
- [30] Kremer, D., et al. 2012. Anthraquinone profiles, antioxidant and antimicrobial properties of *Frangula rupestris* (Scop.) Schur and *Frangula alnus* Mill. *Bark. Food Chemistry*, 131(2012), 1174–1180.
- [31] Tebrencu, C. E., et al. 2015. Phytochemical evaluation and HPTLC investigation of bark and extracts of *Rhamnus Frangula* Linn. *Phytochemistry Reviews*, 14(2015), 613-621.
- [32] Gonçalves, R. S., et al. 2018. An optimized protocol for anthraquinones isolation from *Rhamnus frangula* L. *Natural Product Research*, 32(2018), 366-369.
- [33] Mueller, S. O., et al. 1999. Occurrence of Emodin, Chrysophanol and Physcion in Vegetables, Herbs and Liquors. Genotoxicity and Anti-genotoxicity of the Anthraquinones and of the Whole Plants. *Food and Chemical Toxicology*, 37(1999), 481-491.
- [34] Andersen, D. O., et al. 1991. In vitro virucidal activity of selected anthraquinones and anthraquinone derivatives. *Antiviral Research*, 16(1991), 185-196.
- [35] Agarwal, S. K., et al. 2000. Antifungal activity of anthraquinone derivatives from *Rheum emodin*. *Journal of Ethnopharmacology*, 72(2000), 43-46.
- [36] Sydiskis, R. J., et al. 1991. Inactivation of enveloped viruses by anthraquinones extracted from plants. *Antimicrobial Agents Chemotherapy*, 35(1991), 2463-2466.
- [37] Zhou, X. M., Chen, Q. H. 1988. Biochemical study of Chinese rhubarb XXII. Inhibitory effect of anthraquinone derivatives on sodium-potassium-ATPase of a rabbit renal medulla and their diuretic action. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 23(1988), 17-20.
- [38] Koyama, M., Kelly, T. R., Watanabe, K. A. 1988. Novel type of potential anticancer agents derived from chrysophanol and emodin. *Journal of Medicinal Chemistry*, 31(1988), 283-284.
- [39] Zhang, L., Hung, M. C. 1996. Sensitization of HER-2/neu-overexpressing non-small cell lung cancer cells to chemotherapeutic drugs by tyrosine kinase inhibitor emodin. *Oncogene*, 12(1996), 571-576.
- [40] Zhang, L., Chang, C. J., Bacus, S. S., Hung, M. C. 1995. Suppressed transformation and induced differentiation of HER-2/neu-overexpressing breast cancer cells by emodin. *Cancer Research*, 55(1995), 3890-3896.
- [41] Zhang, L., et al. 1998. Tyrosine kinase inhibitor, emodin and its derivative repress HER-2/neu-induced cellular transformation and metastasis-associated properties. *Oncogene*, 16 (1998), 2855-2863.
- [42] Huang, Q., et al. 2007. Anti-cancer properties of anthraquinones from rhubarb. *Medicinal Research Reviews*, 27(2007), 609-630.
- [43] Benli, H., Bahtiyari, M. I. 2015 (b). Combination of ozone and ultrasound in pretreatment of cotton fabrics prior to natural dyeing. *Journal of Cleaner Production*, 89 (2015), 116-124.
- [44] DIN 53924, 1997. Testing of Textiles e Velocity of Soaking Water of Textile Fabrics (Method by Determining the Wicking Height). *Deutsches Institut Fur Normung E.V*, Berlin, 1997.
- [45] McDonald, R., 1997. Recipe prediction for textiles, McDonald R., ed. 1997, *Colour physics for industry* (2nd Edition), Society of Dyers and Colourists, Bradford, England.
- [46] ISO 105-B02:1994, Textiles–Tests for color fastness, Part B02: Color fastness to artificial light, International Organization for Standardization, Brussels, Belgium
- [47] ISO 105-C10:2006, Textiles–Tests for color fastness - Part C10: Color fastness to washing with soap or soda, Test Condition: Test A (1), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- [48] ISO 105-X12:1993, Textiles–Tests for color fastness, Part X12: Color fastness to rubbing, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland

- [49] ISO 105-E04:1994, Textiles–Tests for color fastness, Part E04: Color fastness to perspiration, International Organization for Standardization, Brussels, Belgium
- [50] Vankar, P.S. 2000. Chemistry of natural dyes. Resonance, (2000),73-80.
- [51] Vargas, F., Rivas, C., Medrano, M. 2004. Interaction of Emodin, Aloe-Emodin, and Rhein with Human Serum Albumin: A Fluorescence Spectroscopic Study. Toxicology Mechanisms and Methods, 14(2004), 227-231.
- [52] Cristea, D., Vilarem, D. 2006. Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn. Dyes and Pigments, 70 (2006), 238-245.

Yeniden Örneklemme Teknikleri Kullanarak SMS Verisi Üzerinde Metin Sınıflandırma Çalışması

Özer Çelik¹, Gürkan Kaplan^{2*}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü,
ESKİŞEHİR

^{2*} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü,
ESKİŞEHİR

(Alınış / Received: 21.10.2020, Kabul / Accepted: 16.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Metin Sınıflandırma,
Makine Öğrenmesi,
Yapay Zekâ,
Smote,
SMS

Öz: SMS, mobil cihaz kullanıcılarının iletişimlerinde kullandıkları önemli araçlardan biridir. Günümüzde kullanıcıların almış olduğu çoğu bilginin kaynağı cep telefonlarıdır. Teknolojideki gelişmelerle birlikte cep telefonlarına gelen mesajların içeriği geniş bir alana yayılmakla beraber istenilen kaynaktan gelip gelmediği önemli bir konu teşkil etmektedir. Metin sınıflandırma çalışmalarında Türkçe çalışmaların azlığı dikkat çekicidir. Bu çalışmada çok sayıda kullanıcının telefonlarına gelen mesajlar incelenmiş ve veri ön işleme gibi çeşitli iyileştirme aşamalarından geçirilerek bir araya getirilmiştir. Bu aşamalardan sonra mevcut mesaj içerikleri makine öğrenmesi teknikleri aracılığıyla metin sınıflandırma uygulanarak incelenmiştir. Elde edilen veriler normal, reklam ve spam olacak şekilde 3 farklı kategoriye ayrılmıştır. Ayrıca dengesiz olan veri setini dengeli hale getirmek için Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE), Condensed Nearest Neighbour (CNN), Undersampling Technique ve Random Undersampling Technique (RUS) uygulanarak sınıflandırma performansları incelenmiştir. 4203 adet SMS'in yer aldığı veri seti üzerinde yapılan çalışma sonucunda en iyi sonucu veren (OACC değerine göre) sınıflandırmalar SMOTE'ta yaklaşık % 80.1 ile Lojistik Regresyon, CNN'de yaklaşık %62.1 ile XGBoost ve RUS'ta yaklaşık %73.8 ile Lojistik Regresyon olmuştur.

Text Classification Study on SMS Data Using Resampling Techniques

Keywords

Text Classification,
Machine learning,
Artificial intelligence,
Smote,
SMS

Abstract: SMS is one of the important tools that mobile devices users use in their communication. Today, most of the information received by users is the source of mobile phones. With the advances in technology, the content of the messages coming to mobile phones is spread over a wide area and whether or not they come from the desired source is an important issue. The lack of Turkish studies in text classification studies is noteworthy. In this study, the messages received from a large number of users' phones were examined and brought together through various improvement stages such as data preprocessing. After that, the existing message contents were examined by applying text classification by machine learning techniques. The data obtained are divided into 3 different categories as normal, advertising and spam. In order to stabilize the unbalanced data set, classification performances were examined by applying Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE), Condensed Nearest Neighbor (CNN) Undersampling Technique and Random Undersampling Technique (RUS). As a result of the study performed on the data set containing 4203 SMS, the best classifications (according to OACC value) were Logistic Regression with 80.1% in SMOTE, XGBoost with 62.1% in CNN and Logistic Regression with 73.8% in RUS.

*İlgili Yazar, email: gurkan.esogu@gmail.com

1. Giriş

Metin sınıflandırmanın birçok farklı uygulama alanı vardır. Örneğin, kütüphanede yeni bir kitabın konusunun belirlenmesi ve benzer temalı kitaplar arasında uygun yerin belirlenmesi bir metin sınıflandırma problemidir. Bu, insan emeği yerine bilgisayar tarafından yapılırsa, işleme bilgisayarlı metin sınıflandırma denir. Spam filtreleme, bir metnin yazarı veya dilini belirleme, belge indeksleme, kelime anlamını belirleme gibi birçok uygulama metin sınıflandırma uygulamalarına örnektir. Öte yandan, diğer sınıflandırma uygulamaları metin sınıflandırma çözüm yöntemleri ile gerçekleştirilebilir. Konuşmaların sınıflandırılmasının uygulanmasında, konuşma tanıma işleminden sonra metin sınıflandırması yapılarak konuşmanın uygun sınıfa atanması sağlanabilir. Video gibi çoklu ortamların sınıflandırma sorunu, belgedeki çoklu ortamlarla ilgili metinlerin sınıflandırma problemini azaltarak çözülmüştür [1]. Teknolojideki ilerlemelerle birlikte, e-posta, forum ve sohbet odaları gibi bilgisayar destekli iletişim araçlarıyla metin sınıflandırması giderek daha önemli hale geldi. Her ne kadar sürekli güncellenen blog alanları gibi uygulamalar milyonlarca insan tarafından kullanılsa da takibi çok zordur. Geçmişte içerik analizine odaklanan çalışmalar olmasına rağmen, içeriklerin sınıflandırılmasına odaklananların sayısı sınırlıdır. Bunun nedeni, bir metnin havasını sınıflandırmanın zor olmasıdır. Yapay zekâ çalışmalarındaki gelişmeler ile doğal dil işleme kullanılarak bu zorluk ortadan kaldırılmıştır. Doğal dil işleme modelleri, metni sınıflandırmak için önceki bilgilerin kullanılmasını gerektirir. Makine öğrenmesi yaklaşımları, açıklayıcı modeller oluşturmak için denetimli öğrenme algoritmaları kullanır. Metin sınıflandırma için, makine öğrenme teknikleri, farklı dillere ve koşullara daha iyi uyum sağlayabileceklerinden, doğal dil işleme tekniklerinden daha iyi sonuçlar elde etme eğilimindedir [2].

Diğer dillerin aksine, literatür araştırıldığında, Türkçe metin sınıflandırma çalışmalarının sayısının az olması dikkat çekicidir. Tüfekçi ve ark., Türk dil bilgisi özelliklerini kullanarak web tabanlı haber metinlerini sınıflandırmak için azaltılmış özellik vektörünü kullandı. Naive Bayes, SVM, C4.5 ve RF sınıflandırma yöntemlerinden elde edilen sonuçlar genellikle daha yüksekti, ancak en yüksek başarı %92.73 ile Naive'den elde edildi [3]. Amasyalı ve diğ. metin sınıflandırma için bir sistem geliştirdi ve %76'lık bir başarı oranı elde etti [4]. Amasya ve Diri, N-gram karakterini kullandı ve metnin yazarını, metnin türünü ve yazarın cinsiyetini belirlemek için bazı sınıflandırma algoritmalarını inceledi. Bu problemlerde başarı sırasıyla %83, %93 ve %96 olarak ölçüldü [5]. Yıldız ve diğ. Metin sınıflandırma için yeni bir özellik çıkarma yöntemi önererek Naive Bayes algoritması ile %96.25 başarı oranı elde etti [6]. Güven ve ark. N-gram kelime belgelerinde Uygulamalı Latent Semantik Analiz yöntemi kullandı [7]. Güran ve diğ. unigram, bigram ve trigram kelimelerinin temsil edildiği ve genellikle yüksek sınıflandırma oranlarına ulaşıldığı bir Türk veri setine çeşitli sınıflandırma yöntemleri uyguladılar. En iyi sonuçlar sırasıyla %95.83, %93.17 ve %52.83 olarak elde edildi [8].

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, çok sayıda kullanıcının telefonlarına gelen 4203 adet SMS'e (Reklam SMS: 2374, Normal SMS: 1277, Spam SMS: 552) çeşitli makine öğrenme teknikleri ile metin sınıflandırması yapıldı. Bu veri halka açık olarak internet üzerinden Curl yöntemi ile indirilmiştir. SMS'lerin reklam, normal veya spam olmaları ile tahminleme çalışması yapılmıştır. Ayrıca, aşırı örneklemenin ve alt örneklemenin metin sınıflandırma performansına etkisi incelenmiştir. Bu sınıflandırma işleminden önce, veri seti önceden işlenmiş ve gerekli ölçeklendirme yapılmıştır. Bu aşamadan sonra, çeşitli makine öğrenme teknikleri ile SMS'ler için tahmin modelleri kurulmuş ve farklı durumlarda hangi istatistiksel sınıflamanın daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan veri setine uygulanan makine öğrenme teknikleri için Python(versiyon: 3.7.1) programlama dili kullanılmıştır.

2.1. Makine öğrenmesi teknikleri

Makine öğreniminin amacı, bilgisayarlardaki karmaşık sorunları tespit etmek ve onlara rasyonel çözümler sunmaktır. Bu, makine öğreniminin istatistik, veri madenciliği, örüntü tanıma, yapay zekâ ve teorik bilgisayar bilimi gibi alanlarla yakından ilgili olduğunu ve çok disiplinli bir çalışma gerektirdiğini göstermektedir. Regresyon yöntemleri, bir veya daha fazla açıklayıcı değişken ile bir sonuç değişkeni arasındaki ilişkiyi açıklamak için veri analizinin ayrılmaz bileşenleridir. Makine öğrenimi teknikleriyle yapılan ilk çalışmalardan biri Vapnik tarafından yapılmıştır [9]. Bu çalışmada Vapnik, regresyon problemlerinin çözümü için Destek Vektörü Makinesi kullandı. Bu çalışmada kullanılan yöntem birçok regresyon ve zaman serisi tahmin probleminde yüksek başarı oranları göstermiştir [10]. Günümüzde, teknolojideki gelişmeler ile birlikte makine öğrenme tekniklerinin kullanımı artmaktadır. Aşağıdaki bölüm, bu çalışmada kullanılan makine öğrenme teknikleri ile ilgilidir.

İki veya çok seviyeli kategorik verilerden oluşan çok sayıda sosyo-ekonomik ve tıbbi araştırma sonucunun, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenleri arasındaki sebep-sonuç ilişkisini araştırmak için Lojistik Regresyon (LR) Analizi tercih edilir.

K-En Yakın Komşu (KNN) sınıflandırma yönteminde, veriler örnekteki en yakın veriler arasında en sık temsil edilen sınıfa atanır. En yakın veri Öklid uzaklık fonksiyonu hesaplanarak belirlenir. K, bu sınıflandırmada, dikkate alınması gereken en yakın veri sayısıdır [11].

Destek Vektör Makinesi (SVM), çeşitli metin sınıflandırma problemlerinde kullanılan bir makine öğrenme tekniğidir. SVM'ler yapısal risk minimizasyonu ilkesini takip ederler [12].

Naive Bayes (NB), metin üzerinde iyi çalışan basit bir modeldir. Genel olarak sınıflandırma için kullanılan bu yöntem, temel bir olasılık teoremi olan Bayes teoremine dayanmaktadır. Bayes formülü aşağıdaki gibidir.

$$P(A|B) = \frac{P(A|B)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

Bir karar ağacı (DT), bir veri setini ağacın her bir düğümünde tanımlanan bir dizi teste göre tekrar tekrar küçük alt bölümlere ayıran bir sınıflandırma olarak tanımlanır [13].

Rastgele Orman (RF), hem regresyon hem de sınıflandırma görevleri için geniş bir karar ağacı seti kullanan istatistiksel bir öğrenme algoritmasıdır. Yüksek doğruluğu, sağlamlığı ve özelliklerinin sırasına göre bilgi sunma kabiliyeti nedeniyle RF, biyoinformatik ve tıbbi görüntüleme dahil olmak üzere çeşitli makine öğrenme uygulamalarına etkili bir şekilde uygulanır [14].

Adaboost (ADB) sınıflandırmasının temel amacı, bir dizi zayıf öğrenicinin çıktılarını birleştirmektir. Her zayıf öğrenici bir karar ağacı ve yapay bir ağı temsil eder. Her turda, yanlış sınıflandırılmış öğrenicilerin ağırlıkları artırılır ve doğru sınıflandırılmış öğrenicilerin ağırlıkları azaltılır. Bu işlem, ağırlıklardaki değişiklikler önemsiz hale gelinceye kadar devam eder [15].

Gradyan Artırma (GB) karar ağaçları temelli bir yöntemdir ve önyüklemeye yığına dayalı rastgele ormandan farklı olan bir gradyan artışına dayanır. Bu yaklaşım genellikle karar ağaçları sabit büyüklükte temel bir öğrenici olarak kullanılır ve bu bağlamda gradyan ağacı güçlendirmesi olarak adlandırılır [16]. Bu makine öğrenme yöntemi, bazı zorlu veri setlerinde en gelişmiş sonuçları sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modelin ana fikri, istenen son kombinasyonu elde etmek için çoklu yineleme yoluyla zayıf sınıflandırıcıları geliştirerek güçlü bir sınıflandırıcı oluşturmaktır. Her yineleme, önceki modelin kalıntılarını azaltır. Kalan yönde yeni bir kombinasyon modeli oluşturarak önceki sonucu iyileştirmek için tasarlanmıştır [17].

Extreme Gradient Boost (XGBoost), daha basit ve daha zayıf bir modelin tahminlerini birleştirerek sonucun tahmin edilmesine yardımcı olan denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. Gradyan artırma algoritmasından daha hızlıdır. Daha önce oluşturulmuş zayıf modellerden tekrarlayıp öğrenerek hatayı minimize etmeye çalışır [18].

Yapay sinir ağları (ANN), insan beyninin biyolojik sinir ağlarına dayanarak geliştirilmiştir ve bu ağların fonksiyonlarını yerine getirmek için tasarlanmış bir bilgi işlem sistemidir [19].

2.2. Veri ön işleme

Makine öğrenim teknikleri uygulanmadan önce, aşağıdaki adımlar kullanılarak veri kümesi analiz edilmiştir.

1. Metin Sınıflandırması yapılacağı için eğitime Kullanıcı Adı, Cinsiyet ve PlayStore puanlama bölümleri dahil edilmedi. Yalnızca SMS metinleri alındı.
2. Türk alfabesine göre filtreleme uygulanarak, noktalama işaretleri, sayılar vb. Alfabe dışı karakterler silindi.
3. Her cümleyi bir cümlede belirterek:
 - Tüm büyük harfler küçük harfe dönüştürüldü.
 - Türkçe dilinde duygu belirtmeyen duraklama kelimeleri stopwords filtresi uygulanarak silindi.
 - Her kelimenin kökü TurkishStemmer kullanılarak belirlendi ve cümleler kök formuyla yeniden oluşturuldu.

4. İşlenen matris için en çok kullanılan 1000 kelime CountVectorizer Max Features yöntemi ile belirlendi ve 4203x1000 boyutlu matris oluşturuldu (Reklam SMS: 2374, Normal SMS: 1277, Spam SMS: 552).
5. Veri setindeki SMS metinleri sırasıyla reklam, normal ve spam olacak şekilde üçe bölünmüş ve ilk aşamada dengesiz bir veri seti elde edildi. Bu probleminden kurtulmak için veri seti yeniden örneklendi. Dengesiz veri seti, karar ağacı endüksiyon sistemleri veya her sınıfın göreceli dağılımını hesaba katmadan genel doğruluğu optimize etmek için tasarlanmış çok katmanlı sensörler gibi tipik sınıflandırıcılar için zorluklar ortaya çıkarır [20]. Örnekleme yöntemleri, sınıf dengesizliği problemiyle başa çıkmak için yaygın olarak kullanılır. Bu yaklaşımları uygulamak çok kolay olmakla birlikte, onları en etkili şekilde belirlemek birçok zorluğu içerir. Özellikle, aşırı örneklemenin yetersiz örneklemeden daha etkili olup olmadığı ve hangi örnekleme oranının kullanılması gerektiği iyi belirlenmelidir [21].
6. Veri setinde kullanılan test ve eğitim kümeleri sırasıyla 0.3 ve 0.7 olarak belirlendi.
7. SMOTE tekniği ile veri setine aşırı örnekleme (SMOTE) yapıldı.
 - ÖNCE: Reklam SMS: 2374, Normal SMS: 1277, Spam SMS: 552
 - SONRA: Reklam SMS: 2374, Normal SMS: 2374, Spam SMS: 2374
 - CountVectorizer (Max Features parametresi ile 1000 feature seçildi.)
8. Undersampling (CNN) yapıldı.
 - ÖNCE: Reklam SMS: 2374, Normal SMS: 1277, Spam SMS: 552
 - SONRA: Reklam SMS: 757, Normal SMS: 340, Spam SMS: 552
9. Random Undersampling (RUS) yapıldı.
 - ÖNCE: Reklam SMS: 2374, Normal SMS: 1277, Spam SMS: 552
 - SONRA: Reklam SMS: 552, Normal SMS: 552, Spam SMS: 552
10. Üç tekniğin sonuçlarının karşılaştırması yapıldı.

Veri örnekleme algoritmaları için imblearn kütüphanesinin varsayılan parametreleri, ML algoritmaları için scikit learn kütüphanesinin varsayılan parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan algoritmaların parametreleri

SMOTE	LogisticRegression(C=1.0, class_weight=None, dual=False, fit_intercept=True, intercept_scaling=1, l1_ratio=None, max_iter=100, multi_class='warn', n_jobs=None, penalty='l2', random_state=0, solver='warn', tol=0.0001, verbose=0, warm_start=False)
CNN	XGBClassifier(base_score=0.5, booster='gbtree', colsample_bylevel=1, colsample_bytree=1, gamma=0, learning_rate=0.1, max_delta_step=0, max_depth=3, min_child_weight=1, missing=None, n_estimators=100, n_jobs=1, nthread=None, objective='multi:softprob', random_state=0, reg_alpha=0, reg_lambda=1, scale_pos_weight=1, seed=None, silent=True, subsample=1)
RUS	LogisticRegression(C=1.0, class_weight=None, dual=False, fit_intercept=True, intercept_scaling=1, l1_ratio=None, max_iter=100, multi_class='warn', n_jobs=None, penalty='l2', random_state=0, solver='warn', tol=0.0001, verbose=0, warm_start=False)

2.3. İstatistiksel analiz

Araştırmada kullanılan veri setine makine öğrenme teknikleri uygulandıktan sonra doğruluk oranları confusion matrisi kullanılarak hesaplanmıştır. Confusion matrisi, bir veri kümesinde doğru ve yanlış sınıflandırılmış veri gruplarının sayısını veren matristir.

Çalışmamızda çok sınıflı verilerde yaygın olarak kullanılan bir başarı değerlendirme yöntemi olan Genel Doğruluk Oranı (OACC) kullanılmıştır [22].

Tablo 2. Confusion matris

Data Set		Gerçek Durum			Toplam
		Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	
Tahmin	Sınıf 1	a	b	c	j
	Sınıf 2	d	e	f	k
	Sınıf 3	g	h	i	l
Toplam		m	n	o	N

Başarı skorları, confusion matrisi yardımıyla hesaplanmaktadır (Tablo 2). Çalışmamızda kullanılan ve confusion matrisi yardımıyla hesaplanan başarı ölçüleri ve formülleri (2) numaralı ifadede belirtilmektedir;

$$N = (a + b + c + d + e + f + g + h + i)$$

$$j = a + b + c$$

$$k = d + e + f$$

(2)

$$\begin{aligned}
l &= g + h + i \\
m &= a + d + g \\
n &= b + e + h \\
o &= c + f + i \\
OACC &= (a + e + i) / N \\
Precision_1 &= a / j \\
Precision_2 &= e / k \\
Precision_3 &= i / l \\
Recall_1 &= a / m \\
Recall_2 &= e / n \\
Recall_3 &= i / o \\
Specificity_1 &= (e + f + h + i) / (k + l) \\
Specificity_2 &= (a + c + g + i) / (j + l) \\
Specificity_3 &= (a + b + d + e) / (j + k)
\end{aligned}$$

confusion matrisi yardımıyla hesaplanan birkaç doğruluk puanı daha vardır. Ayrıca çalışmanın gücü, tip II hata, tip I hata sırasıyla TP değeri, FN değeri ve FP değeri ile hesaplanır.

Tüm analiz ve işlemlerde, Windows 10 64bit işletim sistemine, dört çekirdekli Intel Skylake Core i5-6500 CPU 3.2 GHz 6 MB cache ve 8 GB 2400 MHz DDR4 Ram belleğe sahip bir bilgisayar kullanılmıştır.

2.4. Örnekleme teknikleri

Dengesizlik, bir sınıfın örneklem büyüklüğünün diğer sınıf veya sınıflardan çok daha yüksek olmasıdır. Bu nedenle, küçük sınıflara ait veri örnekleri ortak sınıflara ait olanlardan daha sık yanlış sınıflandırılmaktadır. Dengesiz veri setini dengelemek için bazı teknikler geliştirilmiştir [23]. Veri analizinde aşırı örnekleme ve örnek alma, bir veri kümesinin sınıf dağılımını ayarlamak için kullanılan tekniklerdir (yani, temsil edilen farklı sınıflar/kategoriler arasındaki oran). Bu terimler hem istatistiksel örneklemede hem anket tasarım metodolojisinde hem de makine öğreniminde kullanılır [24].

2.4.1. Sentetik azınlık örnekleme tekniği (Synthetic Minority Oversampling Technique, Smote)

SMOTE, veri kümenizdeki eleman sayısını dengeli bir şekilde artırmak için kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Modül, girdi olarak verdiğiniz mevcut azınlık elemanlarından yeni örnekler oluşturarak çalışır. SMOTE'un bu uygulaması çoğunluk elemanlarının sayısını değiştirmez.

Yeni örnekler sadece mevcut azınlık elemanlarının bir kopyası değil; bunun yerine, algoritma her hedef sınıf ve en yakın komşuları için özellik alanından örnekler alır ve hedef durumun özelliklerini komşularının özellikleriyle birleştiren yeni örnekler oluşturur. Bu yaklaşım, her sınıfa uygun özellikleri artırır ve örnekleri daha genel yapar. SMOTE, veri kümesinin tamamını girdi olarak alır, ancak yalnızca azınlık elemanlarının sayısını artırır [25].

Sentetik örnekler, sınıflandırıcının daha küçük ve daha spesifik bölgeler yerine daha büyük ve daha az spesifik karar bölgeleri oluşturmasına neden olur. Azınlık sınıfı örnekleri için, etraflarındaki çoğunluk sınıfı örnekleri tarafından kabul edilenler yerine daha genel bölgeler öğrenilmektedir. Bunun etkisi karar ağaçlarının daha iyi genelleşmesidir. Azınlık sınıfı, asıl büyüklüğünün %100, %200, %300, %400 ve %500'ünde örneklenmiştir. SMOTE algoritması şu şekilde çalışır [26]:

Algorithm SMOTE(T, N, k)

Input: Azınlık sınıflarının sayısı T; yüzdesel SMOTE miktarı N; en yakın komşu sayısı k

Output: (N/100)*T sentetik azınlık örnek sayısı

1. (*Eğer N, 100'den küçükse, SMOTE edilecek örnek sayısı rastgele seçilir.*)
2. **if** N<100
3. **then** Rastgele seçilen T azınlık örnek sayısı
4. T=(N/100)*T
5. N= 100
6. **End if**
7. N=(int)(N/100)(*SMOTE edilecek veri 100'ün katı olarak varsayılır.*)
8. k= En yakın komşu sayısı
9. numattrs= Nitelik sayısı
10. Sample[][]: Orjinal azınlık sınıf örneklerinin dizisi
11. newindex: ilk değeri sıfır olup sentetik örneklerin sayısını tutar.
12. Synthetic[][]: sentetik örneklerin dizisi (*Yalnızca her azınlık sınıfı örneği için en yakın komşu hesaplanır.*)
13. **for** i←1 **to** T

```

14.         i'ye en yakın komşuları hesaplar ve dizileri nnarray'de saklar.
15.         Populate(N,i,nnarray)
16.     End for
17.     Populate(N, i, nnarray)(*Sentetik örnek üretmek için fonksiyon.*)
18.     while N≠0
19.         1 ile k arasında bir rastgele sayı seçilip, nn olarak adlandırılır. Bu adım i'nin en yakın
20.         komşularından birini seçer.
21.         for attr←1 to numattrs
22.             Compute: dif=Sample[nnarray[nn]][attr]-
23.             Sample[i][attr]
24.             Compute: gap= 0 ile 1 arasında rastgele sayı.
25.             Synthetic[newindex][attr]=Sample[i][attr]+gap*dif
26.         endfor
27.         newindex++
28.         N=N-1
29.     End while
30.     return(* Populate fonksiyonunun sonucu *)
31. Pseudo-Code'un sonu.

```

2.4.2. Yoğun en yakın komşu örnekleme tekniği (Condensed Nearest Neighbour, CNN)

Yoğunlaştırılmış En Yakın Komşu, bir numunenin kaldırılıp kaldırılmayacağına karar vermek için en yakın 1 komşu kuralını kullanır [27]. Algoritma aşağıdaki gibi çalışıyor:

- Bütün azınlık örneklerini bir C setine alın.
- C'ye hedeflenmiş sınıftan(örneklenecek sınıf) ve bu sınıfın diğer tüm örneklerinden bir set S'de bir örnek ekleyin.
- S setine geçin, numuneye göre numune alın ve en yakın bir komşu kuralını kullanarak her numuneyi sınıflandırın.
- Örnek yanlış sınıflandırılmışsa, C'ye ekleyin, başka bir şey yapmayın.
- Eklenecek örnek bulunmayana kadar S üzerinde yeniden düzenleyin.

2.4.3. Rastgele örnekleme tekniği (Random Undersampling Technique, RUS)

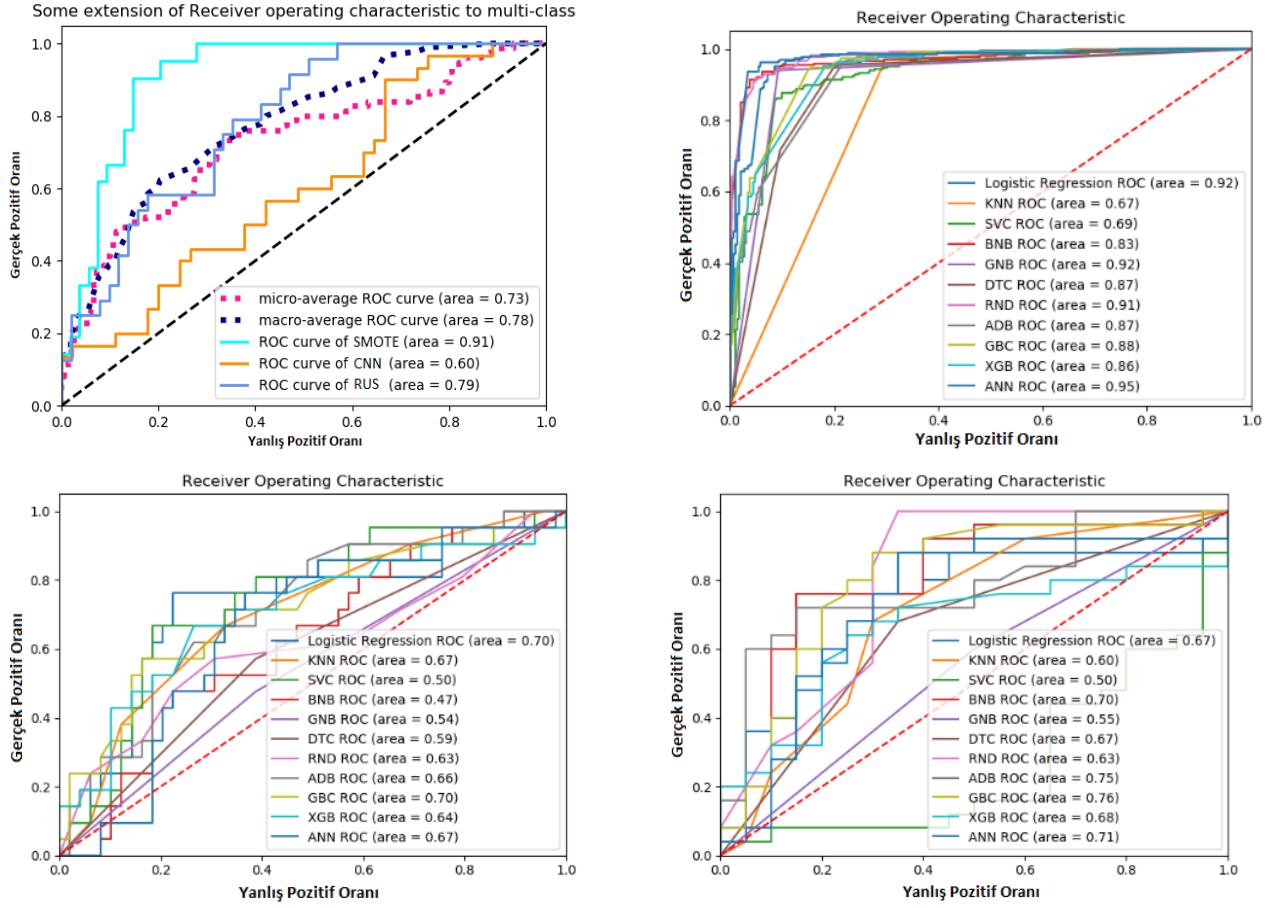
Teknik, numuneleri rastgele bir şekilde sınıftan çıkarır, yerine koyar ya da koymaz. Bu, veri setindeki dengesizliği hafifletmek için kullanılan en eski tekniklerden biridir, ancak sınıflandırıcının varyansını artırabilir ve potansiyel olarak yararlı veya önemli örnekleri atabilir [28].

3. Bulgular

4203 adet SMS'in yer aldığı veri seti üzerinde yapılan çalışmanın sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. OACC değerlerine göre yapılan sınıflandırmalar sonucunda SMOTE tekniğinde en iyi sonucu veren sınıflandırma %80.1 ile lojistik regresyon olurken, bu sınıflandırmayı %79.2 ile ANN izlemiştir. RUS tekniği kullanılarak yapılan sınıflandırma sonucunda en iyi sonucu %73.8 ile Lojistik Regresyon verirken, bu sınıflandırmayı %73.6 ile Rassal Orman izlemiştir. CNN tekniğinde ise en iyi sınıflandırma %62.1 ile XGBoost sınıflandırma olmuştur. Bu sınıflandırmayı %61.5 ile Rassal Orman izlemiştir. Yeniden örnekleme tekniklerinin diğer Makine Öğrenmesi teknikleri ile verdikleri doğru sınıflandırma oranları Tablo 2'de detaylı olarak gösterilmiştir. Burada Recall, o teknik ile doğru olarak tahmin edilenlerinin, tüm o teknikteki doğrulara oranını ifade eder. Specificity, o teknik ile yanlış olarak tahmin edilenlerinin, tüm o teknikteki yanlışlara oranını ifade eder. Precision ise doğru olduğu bilinen gözlemlerin doğru tahmin edilenlerinin doğru olduğu bilinenlere oranıdır. SMOTE, RUS ve CNN tekniklerinin her bir Makine Öğrenmesi tekniği ile ayrı ayrı vermiş oldukları Recall, Specificity ve Precision sonuçları detaylı olarak Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmanın sonucu

(%)		LR	KNN	SVM	BNB	GNB	DT	RF	ADB	GB	XGB	ANN
Specificity (Spam)	RUS	83.59	97.54	98.77	94.15	85.54	87.38	88.62	87.38	92.31	92.62	87.38
	CNN	83.59	90.40	99.69	87.31	72.45	78.02	85.76	84.83	86.69	88.54	79.88
	SMOTE	93.44	79.64	94.55	94.96	69.70	81.71	81.57	91.44	94.96	93.44	82.82
Specificity (Normal)	RUS	83.71	49.85	52.51	76.99	81.12	87.32	86.73	78.17	79.35	75.81	88.20
	CNN	83.71	44.86	100.00	74.94	75.69	86.47	87.72	77.69	85.46	85.21	84.46
	SMOTE	84.53	79.04	65.57	74.77	88.60	93.66	93.80	72.49	76.76	75.41	94.08
Specificity (Reklam)	RUS	70.08	93.64	93.03	87.88	89.70	83.03	85.15	88.79	85.76	86.97	83.64
	CNN	70.08	84.85	7.95	78.41	76.89	65.91	64.02	70.08	65.15	65.53	69.70
	SMOTE	91.98	96.62	91.49	91.21	95.01	91.28	92.69	89.87	89.80	90.58	92.12
Recall (Spam)	RUS	66.46	90.70	95.35	86.03	72.51	75.15	77.71	74.69	82.27	82.61	76.44
	CNN	66.46	68.69	95.45	71.53	51.89	57.99	68.06	65.73	69.29	72.18	62.43
	SMOTE	84.03	63.17	81.46	85.01	59.50	70.02	70.40	75.10	85.10	81.30	71.58
Recall (Normal)	RUS	45.38	46.20	47.73	63.72	68.00	74.40	72.56	63.73	65.17	62.04	75.00
	CNN	45.38	24.66	-	40.83	34.90	46.53	48.96	40.27	46.79	48.70	39.81
	SMOTE	74.11	68.15	57.44	64.28	70.32	84.28	84.79	62.30	66.11	64.83	85.34
Recall (Reklam)	RUS	63.43	77.89	77.67	72.60	73.02	65.85	70.66	71.76	69.68	69.93	66.87
	CNN	63.43	60.78	48.41	68.33	61.64	59.64	62.45	60.70	62.30	62.86	63.13
	SMOTE	83.81	88.38	78.99	81.03	86.19	81.95	84.31	76.59	78.83	79.32	83.88
Precision (Spam)	RUS	61.76	45.35	47.67	68.02	72.09	72.09	75.00	70.35	67.44	66.28	77.33
	CNN	61.76	40.00	12.35	60.59	56.47	57.65	57.65	55.29	57.06	56.47	63.53
	SMOTE	72.67	73.55	50.44	60.17	93.75	89.97	92.30	54.36	60.61	60.03	91.13
Precision (Normal)	RUS	57.45	92.41	93.04	86.71	86.08	79.11	75.32	82.28	82.91	84.81	75.95
	CNN	57.45	76.60	0.00	73.40	55.32	50.00	50.00	63.83	54.26	59.57	43.62
	SMOTE	84.60	85.69	88.83	86.78	51.63	64.99	66.08	86.92	86.65	86.65	65.80
Precision (Reklam)	RUS	59.83	44.31	47.90	63.47	55.09	64.67	70.66	56.29	64.67	59.88	65.27
	CNN	59.83	27.07	99.56	53.71	42.79	58.08	69.00	53.28	66.38	67.25	59.83
	SMOTE	82.52	51.05	63.64	74.69	61.96	78.74	78.18	65.87	75.52	71.89	81.54
OACC	RUS	73.84	59.96	62.17	72.43	70.82	71.83	73.64	69.42	71.43	70.02	72.84
	CNN	60.04	40.97	50.51	59.84	49.90	56.39	61.46	55.98	60.85	62.07	58.01
	SMOTE	80.07	70.19	68.04	74.17	68.65	77.63	78.57	69.40	74.54	73.14	79.22



Şekil 1. Genel ve SMOTE, CNN, RUS tekniklerinin ROC grafikleri

Tablo 4. SMOTE tekniğinin en başarılı algoritmasının confusion matrisi

SMOTE		Gerçek			Doğruluk (%)
		Reklam	Normal	Spam	
Tahmin	Reklam	590	63	62	82.52
	Normal	80	621	33	84.60
	Spam	34	154	500	72.67
					80.07

Tablo 5. CNN tekniğinin en başarılı algoritmasının confusion matrisi

CNN		Gerçek			Doğruluk (%)
		Reklam	Normal	Spam	
Tahmin	Reklam	154	42	33	67.25
	Normal	34	56	4	59.57
	Spam	57	17	96	56.47
					62.07

Tablo 6. RUS tekniğinin en başarılı algoritmasının confusion matrisi

RUS		Gerçek			Doğruluk (%)
		Reklam	Normal	Spam	
Tahmin	Reklam	105	39	23	62.87
	Normal	21	132	5	83.54
	Spam	25	17	130	75.58
					73.84

4. Tartışma ve Sonuç

Araştırma sonucunda, CNN ve RUS teknikleriyle yeniden örnekleme yapılan veri setlerindeki birim sayılarının SMOTE tekniğine göre daha az olması başarı oranına yansıdığı düşünülmektedir. Bu çalışma sonucunda örnekleme tekniklerinden SMOTE tekniğinin örnekleme tekniklerinden daha iyi metin sınıflandırması yaptığı görülmektedir. Ek olarak, bazı algoritmaların örnekleme ve rastgele örnekleme teknikleri uygulanırken ezberleme (overfitting) yaptığı görülmüştür. Bu çalışmada yeniden örnekleme teknikleri detaylı incelenmiş ve

hangi tekniğin ne gibi artısı veya eksisi olduğu görülmüştür. Gelecekte ise sosyal medyaya veya forumlara yapılan kullanıcı yorumlarının sınıflandırmasında verinin normalleştirme aşaması üzerinde detaylı çalışma yapılması planlanmaktadır. Çünkü; günümüzde sosyal medyayı yoğun olarak kullanan genç nüfusun kullandığı kısaltmalar ve dil itibarıyla analiz yapılırken ciddi zorluklar çekildiği görülmüş ve o alanda çalışma yapılması düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] Tantı, A. C. 2016. Metin Sınıflandırma. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 5(2).
- [2] Chaffar, S., Inkpen, D. 2011. Using a heterogeneous dataset for emotion analysis in text. Butz C., Lingras P. (eds) Advances in Artificial Intelligence. AI 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6657. Springer, Berlin, Heidelberg; pp. 62-71.
- [3] Tüfekci, P., Uzun, E., & Sevinç, B. 2012. Text classification of web based news articles by using Turkish grammatical features. In 2012 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- [4] Amasyalı, M. F., & Yıldırım, T. 2004. Otomatik haber metinleri sınıflandırma. SIU 2004, 224-226.
- [5] Amasyalı, M. F., & Diri, B. 2006. Automatic Turkish text categorization in terms of author, genre and gender. In International Conference on Application of Natural Language to Information Systems (pp. 221-226). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Yıldız, H. K., Gençtaş, M., Usta, N., Diri, B., & Amasyalı, M. F. 2007. A new feature extraction method for text classification. In 2007 IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications (pp. 1-4). IEEE.
- [7] Güven, A., Bozkurt, Ö. Ö., & Kalıpsız, O. 2006. Advanced Information Extraction with n-gram based LSI. In Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology (Vol. 17, pp. 13-18).
- [8] Güran, A., Akyokuş, S., Bayazıt, N. G., & Gürbüz, M. Z. 2009. Turkish text categorization using n-gram words. In Proceedings of the International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2009) (pp. 369-373).
- [9] Vapnik, V. The nature of statistical learning theory. Springer, 2nd edition, 1995; New York, USA. pp: 32-40.
- [10] Müller, K.R., Smola, A., Ratsch, G., Schölkopf, B., Kohlmorgen, J., Vapnik, V. 1997. Predicting time series with support vector machines. International Conference on Artificial Neural Networks 1997; Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 999-1004.
- [11] Schlögl, A., Lee, F., Bischof, H., Pfurtscheller, G. 2005. Characterization of four-class motor imagery EEG data for the BCI- competition. Journal of neural engineering 2005; 2(4): L14. doi: 10.1088/1741-2560/2/4/L02
- [12] Schwarm, S.E., Ostendorf, M. 2015. Reading level assessment using support vector machines and statistical language models. Proceedings of the 43rd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics 2015; Association for Computational Linguistics, pp. 523-530. doi: 10.3115/1219840.1219905
- [13] Friedl, M.A., Brodley, C.E. 1997. Decision tree classification of land cover from remotely sensed data. Remote sensing of environment 1997; 61(3): pp. 399-409. doi: 10.1016/S0034-4257(97)00049-7
- [14] Petkovic, D., Altman, R., Wong, M., Vigil, A. 2018. Improving the explainability of Random Forest classifier-user centered approach. Pacific Symposium on Biocomputing. Pacific Symposium on Biocomputing 2018; Vol. 23. NIH Public Access. pp. 204-215. doi: 10.1142/9789813235533_0019
- [15] Piras, P., Sheridan, R., Sherer, E.C., Schafer, W., Welch, C.J., Roussel, C. 2018. Modeling and predicting chiral stationary phase enantioselectivity: An efficient random forest classifier using an optimally balanced training dataset and an aggregation strategy. Journal of separation science; 41(6): pp. 1365-1375. doi: 10.1002/jssc.201701334
- [16] Hu, J., Min, J. 2018 Automated detection of driver fatigue based on EEG signals using gradient boosting decision tree model. Cognitive Neurodynamics; pp. 431-440. doi: 10.1007/s11571-018-9485-1
- [17] Yang, L., Zhang, X., Liang, S., Yao, Y., Jia, K., Jia, A. 2018. Estimating Surface Downward Shortwave Radiation over China Based on the Gradient Boosting Decision Tree Method. Remote Sensing; 10(2): 185. doi: 10.3390/rs10020185
- [18] Monisha, A., Christina, S.S., Santiago, N. 2018. Decision Support System for a Chronic Disease-Diabetes. International Journal of Computer & Mathematical Sciences(IJCMS); ISSN 2347-8527, Volume 7, Issue 3, pp: 126-131.
- [19] Celik, O., Osmanoglu, U.O. 2019. Comparing to Techniques Used in Customer Churn Analysis. Journal of Multidisciplinary Developments, 4(1), 30-38.
- [20] Estabrooks, A. 2000. A combination scheme for inductive learning from imbalanced data sets, Diss. DalTech.

- [21] Estabrooks, A., Jo, T., Japkowicz, N. 2004 A multiple resampling method for learning from imbalanced data sets. *Computational intelligence*; 20(1): pp. 18-36. doi: 10.1111/j.0824-7935.2004.t01-1-00228.x
- [22] Sun, Y., Kamel, M. S., Wong, A. K., & Wang, Y. 2007. Cost-sensitive boosting for classification of imbalanced data. *Pattern Recognition*, 40(12), 3358-3378.
- [23] https://www.researchgate.net/publication/310799885_Generalized_Confusion_Matrix_for_Multiple_Classes (Erişim Tarihi: 21/10/2020)
- [24] <https://github.com/scikit-learn-contrib/imbalanced-learn> (Erişim Tarihi: 21/10/2020)
- [25] <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/studio-module-reference/smote> (Erişim Tarihi: 21/10/2020)
- [26] Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., Kegelmeyer, W. P. 2002. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of artificial intelligence research*, 16, 321-357.
- [27] https://imbalanced-learn.readthedocs.io/en/stable/under_sampling.html#condensed-nearest-neighbors (Erişim Tarihi: 21/10/2020)
- [28] Fernández, A., Garcia, S., Herrera, F., & Chawla, N. V. 2018. SMOTE for learning from imbalanced data: progress and challenges, marking the 15-year anniversary. *Journal of artificial intelligence research*, 61, 863-905.

Kontrast Ajan İopromidinin Elektronik Yapısı Üzerine Teorik B3LYP Çalışması

Giray Sedat KANDEMİRLİ², M. İzzettin YILMAZER¹*,
Fatma KANDEMİRLİ³, Murat SARAÇOĞLU⁴

*¹ Erciyes University, Faculty of Education Educational Sciences, KAYSERİ

² University of Iowa, Roy Carver College of Medicine, Department of Radiology, UNITED STATES

³Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Biomedical Engineering Department,
KASTAMONU

⁴Erciyes University, Faculty of Education, Mathematics and Science Education, KAYSERİ

(Alınış / Received: 27.01.2020, Kabul / Accepted: 04.08.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

İopromidin,
DFT,
B3LYP,
Kuantum kimyasal
hesaplamalar.

Öz: İopromidinin moleküler yapısı, B3LYP/CEP-121G ve PBE/TZP seviyelerinde DFT hesaplamaları ile belirlenmiştir. İopromidinin bileşiğinin gaz fazı ve farklı çözücülerde örnek olarak, kloroform, asetik asit, etanol, DMF, DMSO, su, elektronik, yapısal ve termodinamik özellikleri, manyetik momenti, statik ve dinamik polarizasyonu (α ve $\Delta\alpha$) ve hiperpolarizasyon kabiliyeti (β , γ), B3LYP yönteminin CEP-4G, CEP-31G, CEP-121G, DGDZVP ve LANL2DZ baz setleri kullanılarak Gaussian 09 yazılımı yardımıyla belirlenmiştir. Zamana bağlı yoğunluk fonksiyonel teorisi (TD-DFT) ile gaz fazında ve farklı çözücülerdeki iopromidinin optik absorpsiyon spektrumunu hesaplamak için de kullanılmıştır.

Theoretical B3LYP Study on Electronic Structure of Contrast Agent Iopromide

Keywords

Iopromide,
DFT,
B3LYP,
Quantum chemical
calculations.

Abstract: The molecular structure of iopromide was determined by DFT calculations at B3LYP/CEP-121G and PBE/TZP levels. Electronic, structural, and thermodynamic properties, magnetic moment, static and dynamic polarizability (α and $\Delta\alpha$) and hyperpolarizability (β , γ) of iopromide compound were determined by using B3LYP method with the CEP-4G, CEP-31G, CEP-121G, DGDZVP and LANL2DZ basis sets in gas phase and different solvents such as chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO, water with the assistance of Gaussian 09 software. The effect of solvent on parameters has been studied. Time dependent density functional theory (TD-DFT) has also been used to calculate the optical absorption spectrum of iopromide in gas phase and in different solvents.

*İlgili Yazar, email: izzettin@erciyes.edu.tr

1. Introduction

Iodinated X-ray contrast media are sterile iodine-containing solutions and they are the most commonly used drugs in diagnostic and interventional procedures. Contrast media which are categorised as ionic monomers, ionic dimers, nonionic monomers and nonionic dimers differ due to in their osmolality, number of hydroxyl and carboxyl groups [1]. Iodinated contrast media non-ionic monomers, such as iohexol, iopamidol, iomeprol, iopromide, and ioversol have been commercially marketed for long periods, and their safety has been confirmed clinically [2-4] determined the characteristic AEs of iodinated contrast media and to compare the safety profiles of different iodinated contrast media using data from spontaneous post-marketing and reported that Iopromide (45.5%) was the most commonly implicated iodinated contrast medium, followed by iohexol (16.9%), iopamidol (14.3%) and iomeprol (10.3%). Iopromide is a dicarboxylic acid diamide that consists of N-methylisophthalamide bearing three **iodo** substituents at positions 2, 4 and 6 a methoxyacetyl substituent at position 5 and two 2,3-dihydroxypropyl groups attached to the amide nitrogens.

Starry [5] synthesized iopromide from 3-amino-5-(2,3-diacetoxypropylcarbamoyl)-2,4,6-triiodobenzoic acid by reaction with methoxyacetyl chloride, hydrolysis with NaHCO₃ and chlorination to give 3-(2-methoxyacetyl-amino)-5-(2,3-dihydroxypropylcarbamoyl)-2,4,6-triiodobenzoyl chloride, followed by reaction with N-methyl-2,3-dihydroxypropylamine with an overall yield of about 80%.

In internal organ examinations where the difference in X-ray absorption between the organ and adjacent tissues is small, therefore contrast agents with different absorption rates are used to increase the difference in X-ray absorption. There are two types of contrast media, i.e. positive contrast agents that absorb the X-ray well and negative contrast agents that transmit the X-ray well and a suitable type is used for the purpose of examination.

In this research work, HOMO and LUMO energies, parameters related with HOMO and LUMO energies molecular polarizability (α) and first hyperpolarizabilities, thermodynamic properties are calculated using B3LYP level using by the DFT level and B3LYP functionals with the CEP-4G, CEP-121G, CEP-31G, DGDZVP and LANL2DZ basis sets iopromide molecule for gas and solvent media such chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water using Gaussian 09, Revision A.02 program [6].

2. Computation Methods

The input files of the complex were prepared with GaussView 5.0.8 [7]. Calculations were made using Gaussian 09, Revision A.02 program [6]. Quantum chemical properties of iopromide were determined through the application of density functional theory (DFT) methods (B3LYP) [8], with LANL2DZ [9], CEP-4G [10], CEP-31G [11] and CEP-121G [11] basis sets.

2.1. Computational details

In this study, all calculations were carried out by using DFT/B3LYP method. Optimization of synthesized molecules was performed with 6-311G(d,p) basis set of Gaussian 09, Revision A.02 program [6]. Quantum chemical parameters for synthesized molecules such as; the energy of the highest occupied molecular orbital (E_{HOMO}), the energy of the lowest unoccupied molecular orbital (E_{LUMO}), HOMO-LUMO energy gap (ΔE), ionization energy (I), chemical hardness (η), softness (σ), electronegativity (χ), chemical potential (μ), dipole moment (DM), global electrophilicity (ω) and sum of negative Mulliken atomic charges (MAC), summary of natural population analysis (SNPA) for gas and different phases of neutral molecules were calculated and discussed. Recently, the optimization of the molecules with different basic groups and the discussion of the results have been widely used [12-33].

Molecular properties, related to the reactivity and selectivity of the compounds, were estimated following the Koopmans's theorem [34] relating the energy of the HOMO and the LUMO. According to the DFT-Koopmans' theorem [34, 35], the ionization potential (I) can be approximated as the negative value of the highest occupied molecular orbital energy (E_{HOMO}), such as shown in equation 1:

$$I = -E_{\text{HOMO}} \quad (1)$$

The negative value of the lowest unoccupied molecular orbital energy (E_{LUMO}) is similarly related to the electron affinity (A) [36] shown in equation 2:

$$A = -E_{\text{LUMO}} \quad (2)$$

Energy gap (ΔE) is estimated by using the E_{HOMO} and E_{LUMO} :

$$\Delta E = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}} \quad (3)$$

Electronegativity (χ) is estimated with the following the equation from E_{HOMO} and E_{LUMO} [37] or ionization potential (I) and electron affinity (A) [38]:

$$\chi \cong -\left(\frac{E_{\text{HOMO}} + E_{\text{LUMO}}}{2}\right) = \left(\frac{I + A}{2}\right) \quad (4)$$

Chemical hardness (η) measures the resistance of an atom to a charge transfer [37], it's estimated by using the equation 5 from E_{HOMO} and E_{LUMO} or I and A [38]:

$$\eta \cong -\left(\frac{E_{\text{HOMO}} - E_{\text{LUMO}}}{2}\right) = \left(\frac{I - A}{2}\right) \quad (5)$$

Electron polarizability, called chemical softness (σ), describes the capacity of an atom or group of atoms to receive electrons [37], and it is estimated by using the equation 6:

$$\sigma = \frac{1}{\eta} \cong - \left(\frac{2}{E_{\text{HOMO}} - E_{\text{LUMO}}} \right) \quad (6)$$

Chemical potential (μ) and electronegativity (χ) can be calculated with the help of the following equation [12] from E_{HOMO} and E_{LUMO} :

$$\mu = -\chi \cong \left(\frac{E_{\text{HOMO}} + E_{\text{LUMO}}}{2} \right) \quad (7)$$

The global electrophilicity index (ω) is a useful reactivity descriptor that can be used to compare the electron-donating abilities of molecules [39]. Global electrophilicity index is estimated by using the electronegativity (χ) and chemical hardness (η) parameters through the equation:

$$\omega = \frac{\chi^2}{2\eta} \quad (8)$$

A high value of electrophilicity describes a good electrophile while a small value of electrophilicity describes a good nucleophile [40].

3. Result and Discussion

The most important orbital in the molecule is the so-called frontier orbitals known as HOMO and LUMO. LUMO the lowest unoccupied molecular orbital HOMO is the highest energy MO. The optimized structure and, the pictorial representation of their HOMO-LUMO distribution and their respective positive and negative regions of mentioned molecule at B3LYP/LANL2DZ level for gas phase are shown in **Figure 1**.

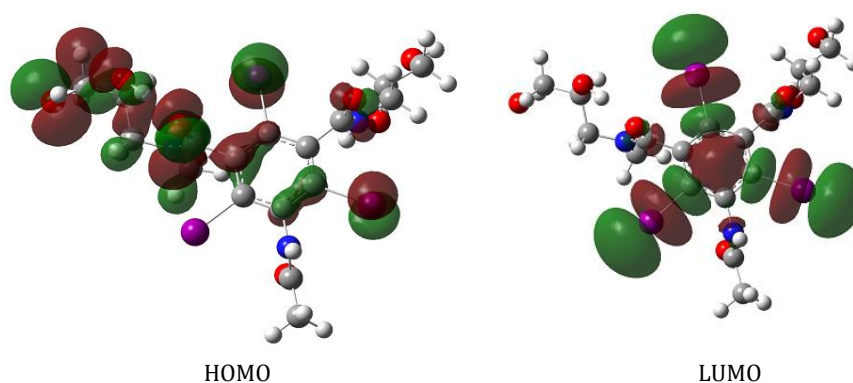


Figure 1. The frontier MOs (HOMOs, LUMOs) of molecules by using DFT/B3LYP/LANL2DZ basic set.

As seen from **Figure 1**, both HOMO and LUMO plots simulated with B3LYP/LANL2DZ level were localized on the groups attached to **C16** atom of benzyl group for iopromide molecule. Green and red colour represents the positive and negative phase, respectively of the iopromide molecule.

The highest occupied molecular orbital (HOMO) that represents the ability to donate an electron and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) as an electron acceptor that obtains electron are the main orbitals that take part in chemical stability. Energy gap that is difference between HOMO and LUMO energy is an important stability for molecules [41]. E_{HOMO} , E_{LUMO} and ΔE of iopromide molecule calculated by the DFT level and B3LYP functionals with the CEP-4G, CEP-121G, CEP-31G, DGDZVP and LANL2DZ basis sets in gas, chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water phases are presented in **Figures 2-4**.

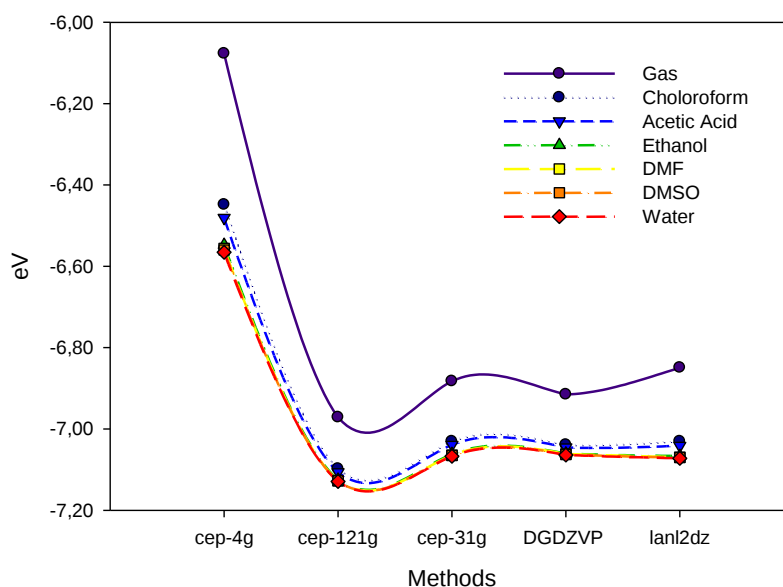


Figure 2. The calculated HOMO parameters by using CEP-4G, CEP-121G, CEP-31G, DGDZVP and LANL2DZ basis sets in gas, chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water phases.

As seen from the **Figure 2**, we can say that HOMO energy on going from the gas phase to water phase for all the bases set decreased by solvent dielectric constant for all the studied basis sets. The HOMO energy of iopromide molecule have decreased in the following order: -6.849 eV in gas phase > -7.030 eV in chloroform > -7.041 eV in acetic acid > -7.067 eV in ethanol > -7.069 eV in DMF > -7.070 eV in DMSO > -7.072 in water at LANL2DZ basis set. According to these results, the electron donating trends for study molecule for different phase can be written for LANL2DZ basis set as: gas phase < chloroform < acetic acid < ethanol < DMF < DMSO < water. However, LUMO energy on going from the gas phase to solvent phase at LANL2DZ basis set slightly increased from -2.2893 eV to -2.2850 eV in chloroform and then decreased as the dielectric constant of the solvent increased. The similar trend is seen for DGDZVP basis set (**Figure 3**).

The largest HOMO-LUMO energy gap (ΔE) was found in water solvent for the all studied basis set which implies higher kinetic stability and less chemical reactivity [42] and the smallest ΔE was found in gas phase for the all studied basis set. The ΔE of iopromide molecule have decreased in the following order: 4.560 eV in gas phase < 4.745 eV in chloroform < 4.755 eV in acetic acid < 4.777 eV in ethanol < 4.779 eV in DMF < 4.781 eV in DMSO < 4.782 eV in water at LANL2DZ basis set; 4.614 eV in gas phase < 4.757 eV in chloroform < 4.763 eV in acetic acid < 4.776 eV in ethanol < 4.776 eV in DMF < 4.778 eV in DMSO < 4.778 eV in water at DGDVZ basis set (**Figure 4**).

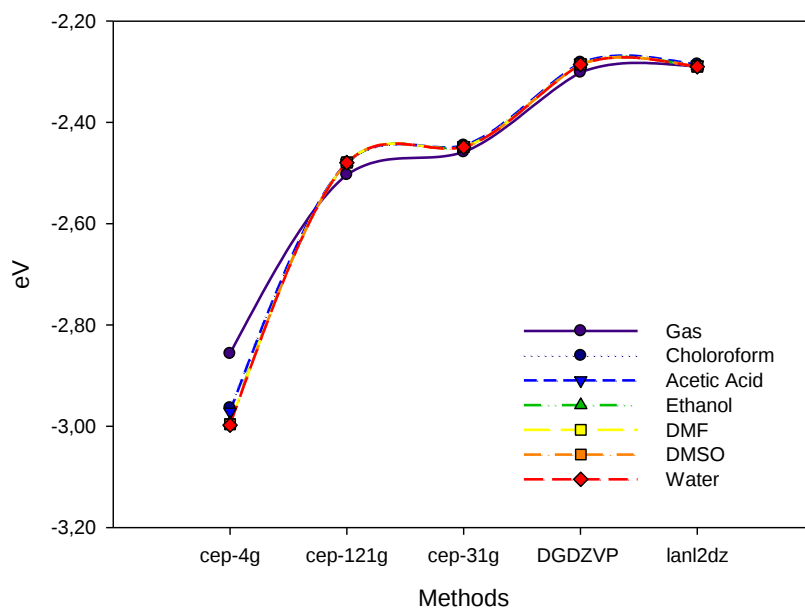


Figure 3. The calculated LUMO parameters by using CEP-4G, CEP-121G, CEP-31G, DGDZVP and LANL2DZ basis sets in gas, chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water phases.

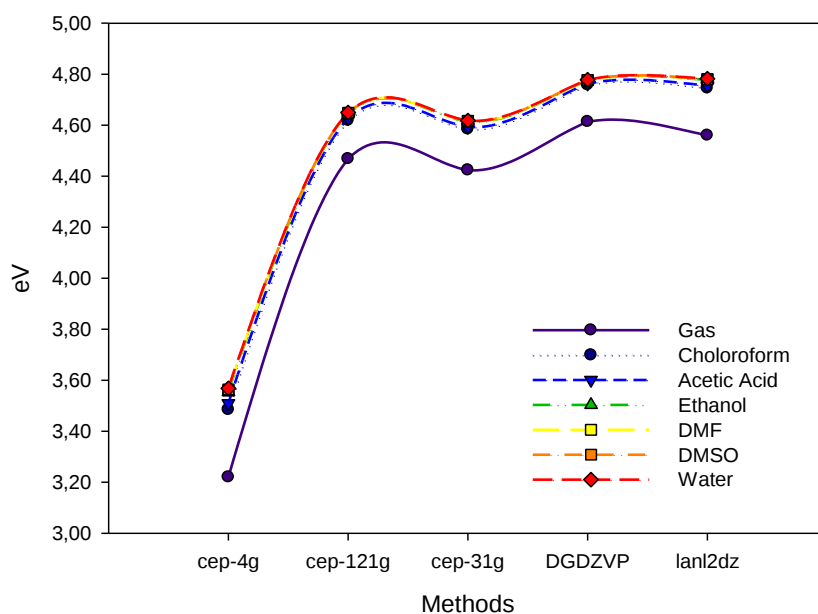


Figure 2. The calculated energy gap (ΔE) parameters by using CEP-4G, CEP-121G, CEP-31G, DGDZVP and LANL2DZ basis sets in gas, chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water phases.

Additionally, the, chemical potential, electron affinity, electronegativity chemical hardness, softness and electrophilicity index parameters of iopromide molecule calculated by the DFT level and B3LYP functionals with the CEP-4G, CEP-31G, CEP-121G, DGDZVP and LANL2DZ basis sets in gas phase and chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water phases found using the computed E_{HOMO} and E_{LUMO} were summarized in **Table 1**.

Table 1. The calculated quantum chemical parameter values.

Phase	Method	E _{HOMO} , eV	E _{LUMO} , eV	ΔE, eV	η, eV	σ, eV ⁻¹	χ, eV	μ, eV	ω, eV	ε, eV	ω, eV	MAC, e	SNPA, e
Gas	B3LYP-CEP-121	-6.971	-2.503	4.468	2.234	0.224	9.475	-9.475	20.093	11.735	30.685	-3.656	-9.400
	B3LYP-CEP-4G	-6.077	-2.857	3.220	1.610	0.311	8.933	-8.933	24.784	16.656	34.522	-3.354	-7.254
	B3LYP-CEP-31	-6.882	-2.459	4.424	2.212	0.226	9.341	-9.341	19.724	11.489	30.170	-3.379	-9.400
	DGDVZ	-6.915	-2.301	4.614	2.307	0.217	9.216	-9.216	18.410	10.347	28.780	-3.128	-9.467
	LANL2DZ	-6.849	-2.289	4.560	2.280	0.219	9.139	-9.139	18.315	10.316	28.593	-3.899	-9.634
Chloroform	B3LYP-CEP-121	-7.098	-2.479	4.619	2.309	0.217	9.577	-9.577	19.859	11.437	30.591	-3.939	-8.842
	B3LYP-CEP-4G	-6.448	-2.964	3.484	1.742	0.287	9.412	-9.412	25.424	16.883	35.708	-3.435	-7.395
	B3LYP-CEP-31	-7.030	-2.446	4.585	2.292	0.218	9.476	-9.476	19.584	11.255	30.207	-3.704	-9.583
	DGDVZ	-7.039	-2.282	4.757	2.379	0.210	9.321	-9.321	18.261	10.130	28.772	-3.143	-9.627
	LANL2DZ	-7.030	-2.285	4.745	2.373	0.211	9.315	-9.315	18.286	10.157	28.788	-4.102	-9.816
Acetic Acid	B3LYP-CEP-121	-7.106	-2.479	4.627	2.314	0.216	9.586	-9.586	19.858	11.429	30.600	-3.961	-8.856
	B3LYP-CEP-4G	-6.481	-2.972	3.509	1.755	0.285	9.452	-9.452	25.460	16.885	35.790	-3.442	-7.406
	B3LYP-CEP-31	-7.039	-2.446	4.593	2.297	0.218	9.484	-9.484	19.583	11.247	30.216	-3.735	-9.598
	DGDVZ	-7.045	-2.282	4.763	2.382	0.210	9.328	-9.328	18.266	10.129	28.785	-3.138	-9.640
	LANL2DZ	-7.041	-2.286	4.755	2.378	0.210	9.327	-9.327	18.295	10.157	28.812	-4.106	-9.830
Ethanol	B3LYP-CEP-121	-7.125	-2.479	4.646	2.323	0.215	9.604	-9.604	19.855	11.412	30.621	-4.020	-8.892
	B3LYP-CEP-4G	-6.547	-2.994	3.554	1.777	0.281	9.541	-9.541	25.618	16.965	36.047	-3.457	-7.431
	B3LYP-CEP-31	-7.062	-2.448	4.614	2.307	0.217	9.510	-9.510	19.601	11.245	30.264	-3.802	-9.634
	DGDVZ	-7.061	-2.285	4.776	2.388	0.209	9.346	-9.346	18.289	10.137	28.828	-3.174	-9.670
	LANL2DZ	-7.067	-2.289	4.777	2.389	0.209	9.356	-9.356	18.323	10.161	28.873	-4.165	-9.865
DMF	B3LYP-CEP-121	-7.127	-2.479	4.648	2.324	0.215	9.606	-9.606	19.855	11.410	30.623	-4.027	-8.896
	B3LYP-CEP-4G	-6.556	-2.996	3.560	1.780	0.281	9.552	-9.552	25.626	16.964	36.068	-3.459	-7.434
	B3LYP-CEP-31	-7.064	-2.448	4.616	2.308	0.217	9.513	-9.513	19.605	11.246	30.272	-3.810	-9.638
	DGDVZ	-7.061	-2.285	4.776	2.388	0.209	9.346	-9.346	18.289	10.136	28.829	-3.166	-9.673
	LANL2DZ	-7.069	-2.290	4.779	2.390	0.209	9.359	-9.359	18.327	10.163	28.881	-4.170	-9.869
DMSO	B3LYP-CEP-121	-7.128	-2.479	4.649	2.324	0.215	9.607	-9.607	19.855	11.410	30.624	-4.030	-8.898
	B3LYP-CEP-4G	-6.560	-2.996	3.564	1.782	0.281	9.556	-9.556	25.626	16.960	36.073	-3.460	-7.435
	B3LYP-CEP-31	-7.065	-2.448	4.617	2.308	0.217	9.514	-9.514	19.605	11.245	30.273	-3.814	-9.639
	DGDVZ	-7.063	-2.286	4.778	2.389	0.209	9.349	-9.349	18.293	10.139	28.836	-3.163	-9.675
	LANL2DZ	-7.070	-2.290	4.781	2.390	0.209	9.360	-9.360	18.327	10.162	28.883	-4.172	-9.870
Water	B3LYP-CEP-121	-7.129	-2.480	4.650	2.325	0.215	9.609	-9.609	19.857	11.410	30.628	-4.034	-8.900
	B3LYP-CEP-4G	-6.566	-2.998	3.568	1.784	0.280	9.563	-9.563	25.632	16.961	36.088	-3.461	-7.437
	B3LYP-CEP-31	-7.067	-2.449	4.618	2.309	0.217	9.516	-9.516	19.607	11.246	30.278	-3.819	-9.642
	DGDVZ	-7.064	-2.286	4.778	2.389	0.209	9.350	-9.350	18.295	10.140	28.840	-3.179	-9.677
	LANL2DZ	-7.072	-2.290	4.782	2.391	0.209	9.362	-9.362	18.330	10.163	28.888	-4.176	-9.873

The hardness (η) of iopromide in the ground state increases in the order; 2.280eV in gas phase < 2.373 eV in chloroform < 2.378 eV in acetic acid < 2.389 eV in ethanol < 2.390 eV in DMF = 2.390 eV in DMSO < 2.391 eV in water at LANL2DZ basis set. The similar trend was found for the other studied basis sets.

The chemical potentials (μ) of iopromide in the ground state increases in the order; gas > chloroform > acetic acid > ethanol > DMF > DMSO > water for LANL2DZ basis set. Therefore, if it is desired to have highest chemical potential, iopromide in the ground state, then out of five solvents studied chloroform is the best, however it is the best in gas phase. The same order is found for the CEP-4G, CEP-31G, CEP-121G and DGDZVP basis sets.

The electrophilicity (ω) of iopromide molecule has been found to possess high electrophilicity in the ground in water, then follow DMF and DMSO solution. The electrophilicity index of iopromide molecule has been found to possess small in the ground in gas phase. Nucleofugality (ε) is the highest in gas phase for studied basis sets.

The electron density of phenyl group was calculated and presented in **Table 2**. As seen of the **Table 2**, negative electron density on the phenyl group means that substituents in the ring increased the available electron density in the ring. It was found that, as electron density in the ring changed in the order; gas > water > DMSO > DMF > ethanol > acetic acid > chloroform for LANL2DZ basis set. The electron density of the ring is found biggest in the gas phase for studied basis sets.

Table 2. Electron density of phenyl group.

Method	Gas	Chloroform	Acetic acid	Ethanol	DMF	DMSO	Water
B3LYP-CEP-121	-0.16482	-0.16345	-0.16316	-0.16357	-0.16362	-0.16367	-0.16369
B3LYP-CEP-31	-0.16028	-0.15914	-0.15934	-0.15969	-0.15975	-0.15977	-0.15981
DGDVZ	-0.16512	-0.15368	-0.15332	-0.15124	-0.15269	-0.15121	-0.15118
LANL2DZ	-0.17452	-0.17172	-0.17185	-0.17228	-0.17233	-0.17235	-0.17238

In the present study the electronic dipole moment, molecular mean polarizability ($\langle\alpha\rangle$ determined by considering only the diagonal elements, anisotropy of polarizability ($\Delta\alpha$), and Kappa of the title compounds has been calculated using the following expressions (Eq. 9), and shown in **Figure 5**.

$$\alpha = \frac{1}{3}(\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz})$$

$$\Delta\alpha = \left[\frac{(\alpha_{xx} - \alpha_{yy})^2 + (\alpha_{yy} - \alpha_{zz})^2 + (\alpha_{zz} - \alpha_{xx})^2 + 6(\alpha_{xz}^2 + \alpha_{xy}^2 + \alpha_{yz}^2)}{2} \right]^{1/2}$$

$$k = \frac{(\alpha_{xx}^2 + \alpha_{yy}^2 + \alpha_{zz}^2)}{6\langle\alpha\rangle^2} \quad (9)$$

Since the values of the polarizabilities (α) and first-order hyperpolarizability (β) of Gaussian 09 output [43] are reported in atomic units (a.u.), the calculated values have been converted into electrostatic units (esu) (α : 1 a.u. = 0.1482×10^{-24} esu; β : 1 a.u. = 8.6393×10^{-33} esu) [44].

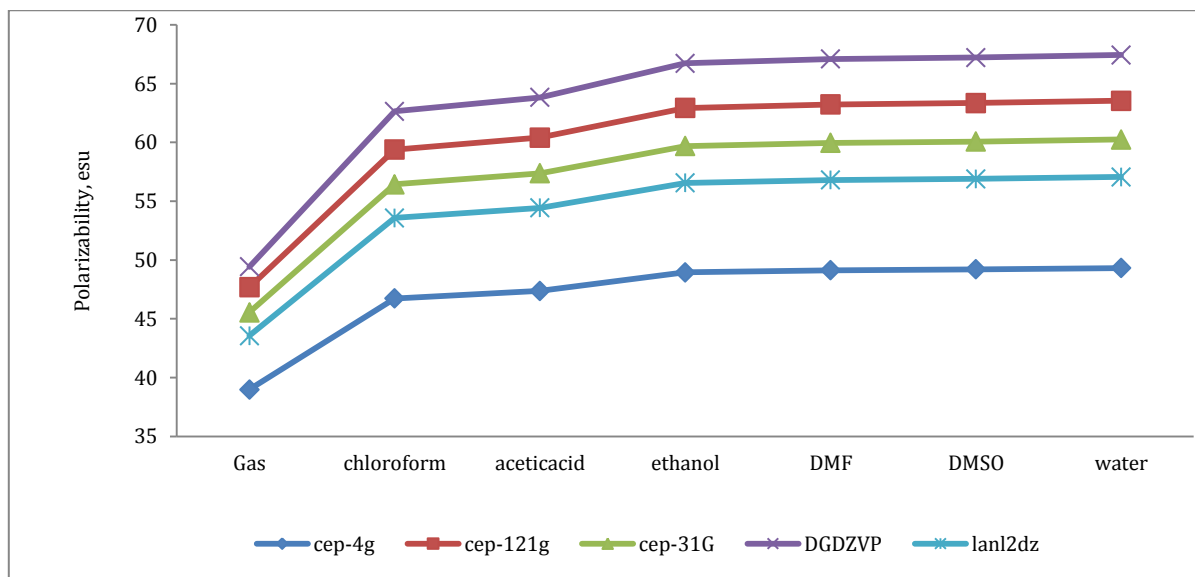


Figure 5. The calculated polarizability values.

In **Figure 6** the comparison between CEP-4G, CEP-31G, CEP-121G, DGDZVP and LANL2DZ basis sets on the calculation of mean polarizability ($\langle\alpha\rangle$), anisotropy of polarizability ($\Delta\alpha$) and Kappa was given. Polarizations are the dynamic response of a connected system and gives an idea of the internal structure of a molecule.

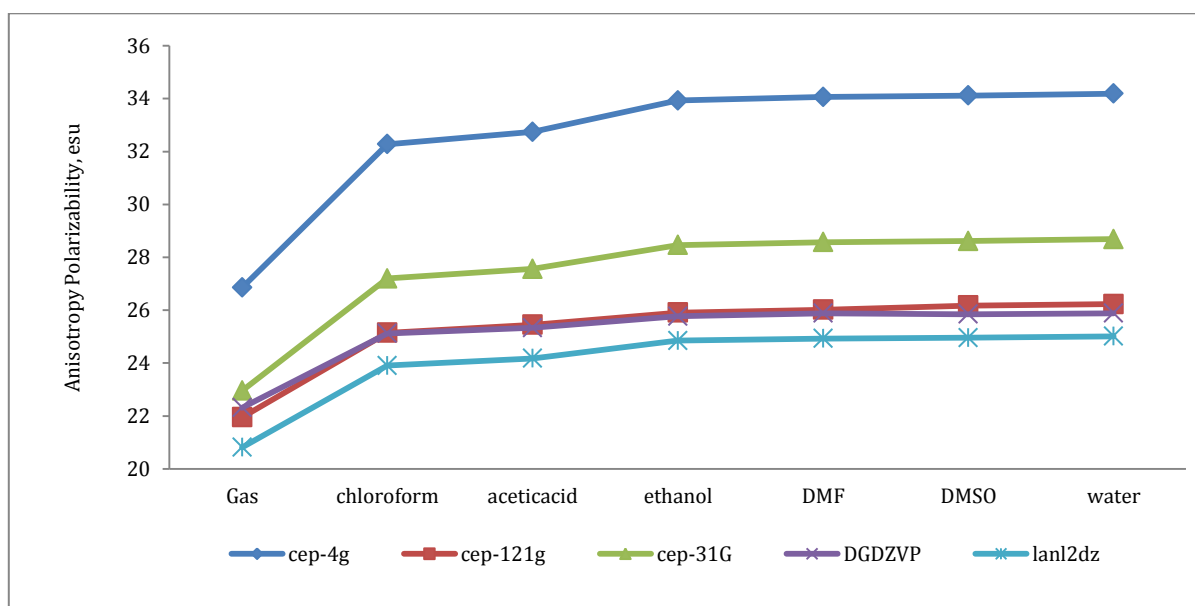


Figure 6. The calculated anisotropy polarizability values.

Polarizability of iopromide calculated by B3LYP/LANL2DZ, changed from 43.56×10^{-24} esu (gas phase), to (chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water are 53.57×10^{-24} esu, 54.44×10^{-24} esu, 56.56×10^{-24} esu, 56.80×10^{-24} esu, 56.91×10^{-24} esu, 57.07×10^{-24} esu, respectively). In the same way, polarizabilities calculated with the other basis sets also significantly changed with changing medium polarity.

Increase in the polarizability of iopromide was 21%, 25%, 24%, 27% and 24% for CEP-4G, CEP-31G, CEP-121G, DGDZVP and LANL2DZ basis sets, respectively. Janjua reported that values of polarizability increase were 78%, 121% and 156% for B3LYP, CAM-B3LYP and LC-B3LYP, respectively [45]. Mikkelsen et al. [46] reported that values of polarizability increase about 18% in water solution compared with the gas phase. Bartkowiak and Lipinski reported a 9% increase for the polarizability value in water compared with the gas phase [47].

Anisotropy polarizability of iopromide calculated by B3LYP/LANL2DZ, changed from 20.81×10^{-24} esu (gas phase), to (chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water are 23.91×10^{-24} esu, 24.18×10^{-24} esu, 24.85×10^{-24} esu, 24.93×10^{-24} esu, 24.96×10^{-24} esu, 25.01×10^{-24} esu, respectively. In the same way, polarizabilities calculated with the other basis sets also slightly changed with changing medium polarity.

The complete equation for calculating the magnitude of the total first static hyperpolarizability from Gaussian 09 output is given as the equation 10.

$$\beta = (\beta_x^2 + \beta_y^2 + \beta_z^2)^{1/2}$$

$$\beta = \left[(\beta_{xxx} + \beta_{xyy} + \beta_{xzz})^2 + (\beta_{yyy} + \beta_{yzz} + \beta_{yxx})^2 + (\beta_{zzz} + \beta_{zxx} + \beta_{zyy})^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

Since the values of the polarizability α and the first hyperpolarizability β of Gaussian 09 output are reported in atomic units (a.u.), the calculated values have been converted into electrostatic units (esu) (β : 1 a.u. = 8.6393×10^{-33} esu). **Table 3** listed B3LYP method with the CEP-4G, CEP-31G, CEP-121G, LANL2DZ basis sets in gas phase and different solvents such as chloroform, acetic acid, ethanol, results of the first hyperpolarizability β for iopromide. The highest value of first hyperpolarisibility is calculated by Cep-4G basis set is equal to 4.64×10^{-30} esu. The calculated first hyperpolarizability β by LANL2DZ, CEP-4G, CEP-31G, CEP-121G and DGDZVP basis sets are equal to 2.94×10^{-30} esu, 4.43×10^{-30} esu, 3.10×10^{-30} esu, 3.99×10^{-30} esu and 3.18×10^{-30} esu, respectively.

Table 3. First hyperpolarizability β for iopromide as values $\times 10^{-30}$.

Phase	LANL2DZ	Cep-4G	Cep-31G	CEP-121	DGDZVP
Gas	2.94	4.43	3.10	3.99	3.18
Chloroform	3.07	4.55	3.21	3.95	3.95
Acetic acid	3.05	4.56	3.06	3.99	4.00
Ethanol	2.96	4.62	2.84	3.85	4.22
DMF	2.95	4.63	2.96	3.83	4.11
DMSO	2.94	4.64	2.95	3.82	4.21
Water	2.93	4.64	2.77	3.80	4.21

The standard statistical thermodynamic functions such as heat capacity, entropy and enthalpy changes for iopromide in gas and solvent phase (chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water) were obtained from the theoretical harmonic frequencies on the basis of vibrational analysis at B3LYP/LANL2DZ level and presented in **Figure 7**.

Thermodynamic parameters in gas and solvent media were found to be varied with varying temperature. The computed values of heat capacity were observed to increase with the increasing temperature. The value of heat capacity was found at 200 K as 94 cal/mol; at 500 K as 174 cal/mol; and at 1000 K as 239 cal/mol. The similar trend was found for the solvent media. The value of heat capacity is the smallest in gas phase for the all temperatures studied except 200 K. And at the temperature between 230 K and 1000 K heat capacity value increase from ongoing gas phase to the water phase. The computed values of entropy and corrected enthalpy were observed to increase with the increasing temperature in gas phase and solvent media studied due to the fact that main contributions to the thermodynamic functions are from the translations and rotations of molecules at a lower temperature, however, the vibrations in the high temperature contribute more to their thermodynamic functions the molecular vibrational intensities increase with temperature [48].

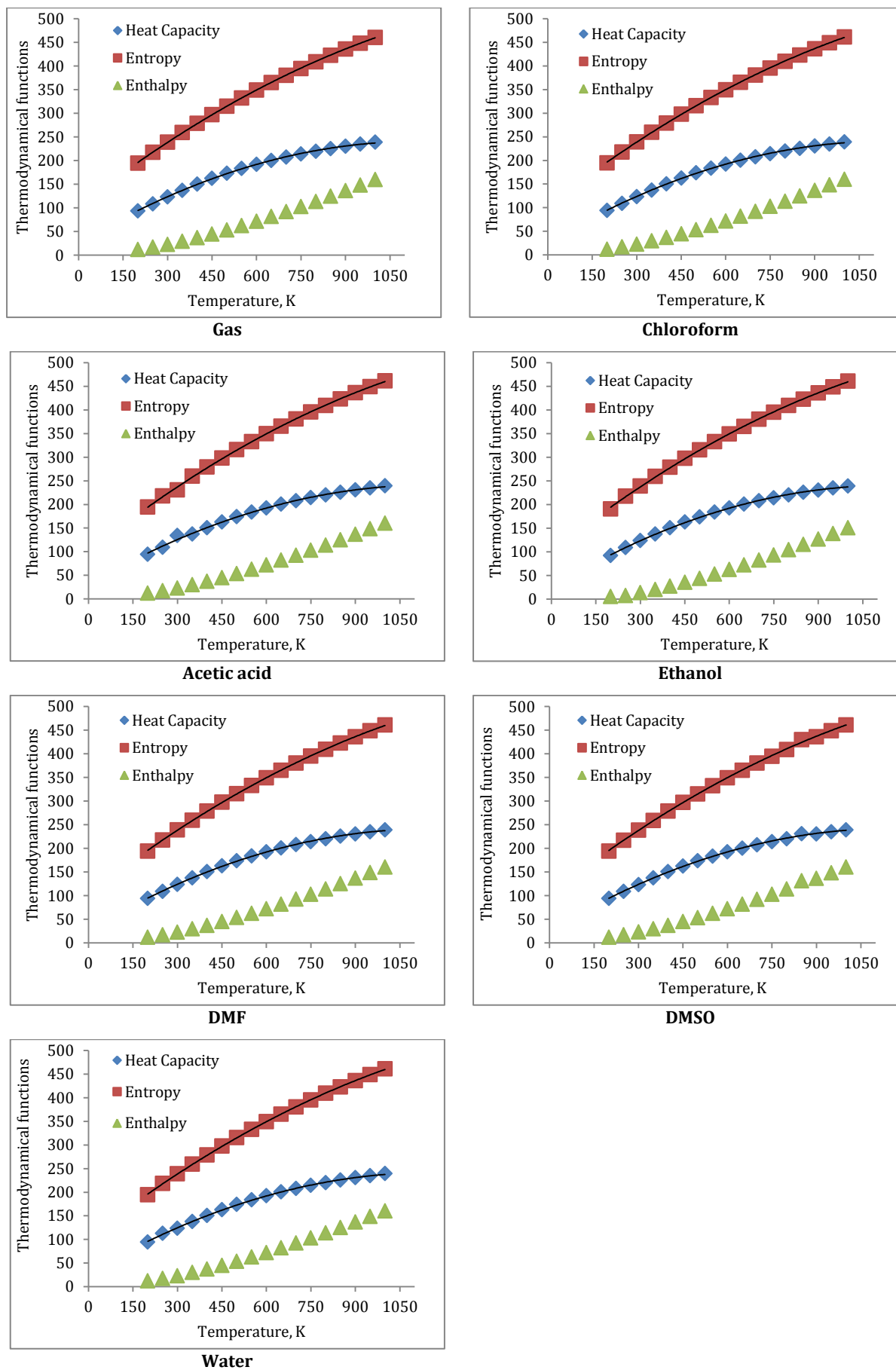


Figure 7. Thermodynamic properties at different temperatures at the B3LYP/LANL2DZ level of iopromide.

The correlation equations between temperatures and heat capacities, entropies, enthalpy were fitted by quadratic formulas, and the corresponding fitting factors (R^2) for heat capacity entropy and enthalpy are 0.9998,

0.99999 and 0.9998, respectively, and the corresponding fitting equations for these thermodynamic functions for gas phase are $C = -0.0002T^2 + 0.3808T + 24.649$, $S = -0.0001T^2 + 0.4893T + 103.66$ and $H = 9E-05T^2 + 0.0821T + 90876$.

Fitting equations for heat capacity entropy and enthalpy and correlation coefficient in solvent media are given in Table 4.

Table 4. Equation and Correlation coefficient between temperatures and heat capacities, entropies, enthalpy.

Media	Heat Capacity	Entropy	Enthalpy
Gas	$C = -0.0002T^2 + 0.3808T + 24.649$ $R^2 = 0.9998$	$S = -0.0001T^2 + 0.4893T + 103.660$ $R^2 = 0.9999$	$H = 9E-05T^2 + 0.0821T + 9.0876$ $R^2 = 0.9998$
Chloroform	$C = -0.0002T^2 + 0.3739T + 26.421$ $R^2 = 0.9996$	$S = -0.0001T^2 + 0.4904T + 103.730$ $R^2 = 0.9999$	$H = 9E-05T^2 + 0.0824T - 9.1085$ $R^2 = 0.9998$
Acetic acid	$C = -0.0002T^2 + 0.3629T + 30.880$ $R^2 = 0.9971$	$S = -0.0001T^2 + 0.4992T + 99.977$ $R^2 = 0.9995$	$H = 9E-05T^2 + 0.0828T - 9.2518$ $R^2 = 0.9998$
Ethanol	$C = -0.0002T^2 + 0.3807T + 24.301$ $R^2 = 0.9995$	$S = -0.0001T^2 + 0.5008T + 99.927$ $R^2 = 0.9998$	$H = 1E-04T^2 + 0.0729T - 15.976$ $R^2 = 0.9994$
DMF	$C = -0.0002T^2 + 0.3801T + 25.143$ $R^2 = 0.9998$	$S = -0.0001T^2 + 0.4906T + 103.140$ $R^2 = 0.9999$	$H = 9E-05T^2 + 0.0828T - 9.2518$ $R^2 = 0.9998$
DMSO	$C = -0.0002T^2 + 0.3749T + 26.055$ $R^2 = 0.9992$	$S = -0.0001T^2 + 0.4919T + 102.610$ $R^2 = 0.9996$	$H = 9E-05T^2 + 0.0836T - 9.5952$ $R^2 = 0.9986$
Water	$C = -0.0002T^2 + 0.3721T + 27.819$ $R^2 = 0.9996$	$S = -0.0001T^2 + 0.4889T + 103.720$ $R^2 = 0.9999$	$H = 9E-05T^2 + 0.0828T - 9.2518$ $R^2 = 0.9988$

All thermodynamic calculations were done in gas phase and chloroform, acetic acid, ethanol, DMF, DMSO and water media. These data supply helpful information for the further study on the iopromide.

4. Conclusion

In the present work, we have performed density functional theory calculations B3LYP method with the CEP-4G, CEP-31G, CEP-121G, DGDZVP, LANL2DZ basis sets in gas and other solvent phases, and solution electronic properties iopromide. Molecular properties such E_{HOMO} , E_{LUMO} , global hardness, chemical potential, global electrophilicity, nucleofugality and electrofugality were calculated. Solvent ability in engaging to structure of the compound can influence energy levels as well as HOMO or LUMO levels, and the parameters related with HOMO and LUMO energies.

In addition to thermodynamic properties of this molecule was calculated B3LYP/LANL2DZ method for gas and solvent media. The correlations between the statistical thermodynamics and temperature were obtained. It is seen that the heat capacities, entropies and enthalpies increase with the increasing temperature due to intensities of the molecular vibrations increase with increasing temperature.

References

- [1] Almén, T. 1994. The etiology of contrast medium reactions. Invest Radiol; 29 Suppl. 1, 37-45.
- [2] Stacul, F. 2001. Current iodinated contrast media. Eur. Radiol. 11, 690-697.
- [3] Kooiman, J., Pasha, S. M., Zondag, W., et al. 2011. Meta-analysis: serum creatinine changes following contrast enhanced CT imaging, Eur. J. Radiol., 81, 2554-2561.
- [4] Seong, J. M., Choi, N. M., Lee, J. Y., Chang, Y., Kim, Y., Yang, B. R., Jin, X. M., Kim, J. Y., Park, B. J. 2013. Comparison of the Safety of Seven Iodinated Contrast Media. Korean Med Sci. 28: 1703-1710.
- [5] Zhejiang, S. 2012. Synthesis of Iopromide, Chinese Journal of Pharmaceuticals. 43, 17, 527-529
- [6] Frisch, M. J.; Trucks, G. W.; Schlegel, H. B.; Scuseria, G. E.; Robb, M. A.; Cheeseman, J. R.; Scalmani, G.; Barone, V.; Mennucci, B.; Petersson, G. A.; Nakatsuji, H.; Caricato, M.; Li, X.; Hratchian, H. P.; Izmaylov, A. F.; Bloino, J.; Zheng, G.; Sonnenberg, J. L.; Hada, M.; Ehara, M.; Toyota, K.; Fukuda, R.; Hasegawa, J.; Ishida, M.; Nakajima, T.; Honda, Y.; Kitao, O.; Nakai, H.; Vreven, T.; Montgomery, J. A., Jr.; Peralta, J. E.; Ogliaro, F.; Bearpark, M.; Heyd, J. J.; Brothers, E.; Kudin, K. N.; Staroverov, V. N.; Kobayashi, R.; Normand, J.; Raghavachari, K.; Rendell, A.; Burant, J. C.; Iyengar, S. S.; Tomasi, J.; Cossi, M.; Rega, N.; Millam, J. M.; Klene, M.; Knox, J. E.; Cross, J. B.; Bakken, V.; Adamo, C.; Jaramillo, J.; Gomperts, R.; Stratmann, R. E.; Yazyev, O.; Austin, A. J.; Cammi, R.; Pomelli, C.; Ochterski, J. W.; Martin, R. L.; Morokuma, K.; Zakrzewski, V. G.; Voth, G. A.; Salvador, P.; Dannenberg, J. J.; Dapprich, S.; Daniels, A. D.; Farkas, Ö.; Foresman, J. B.; Ortiz, J. V.; Cioslowski, J.; Fox, D. J. Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2009.
- [7] Dennington II R. D.; Keith T.A.; Millam J.M. 2009. GaussView 5.0, Wallingford, CT.

- [8] Stephens, P. J., Devlin, F. J., Chabalowski, C. F., Frisch, M. J. 1994. Ab Initio Calculation of Vibrational Absorption and Circular Dichroism Spectra Using Density Functional Force Fields. *J. Phys. Chem.* 98, 11623-11627.
- [9] Ozimiński, W. P., Garnuszek, P., Bednarek, E., Cz Dobrowolski, J. 2007. The platinum complexes with histamine: Pt(II)(Hist)Cl₂, Pt(II)(Iodo-Hist)Cl₂ and Pt(IV)(Hist)₂Cl₂. *Inorg. Chim. Acta.* 360, 1902-1914.
- [10] Stevens, W. J., Basch, H., Krauss, M. 1984. Compact effective potentials and efficient shared-exponent basis-sets for the 1st-row and 2nd-row atoms, *J. Chem. Phys.*, 81, 6026-6023.
- [11] Gao, H. 2011. Theoretical studies of molecular structures and properties of platinum (II) antitumor drugs. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* 79, 687-693.
- [12] Kaya, S., Kaya, C., Guo, L., Kandemirli, F., Tüzün, B., Uğurlu, İ., Madkour, L. H., Saracoglu, M. 2016. Quantum chemical and molecular dynamics simulation studies on inhibition performances of some thiazole and thiadiazole derivatives against corrosion of iron, *J. Mol. Liq.*, 219, 497-504.
- [13] Ebenso, E. E., Arslan, T., Kandemirli, F., Love, I., Öğretir, C., Saracoglu, M., Umoren, S. A. 2010. Theoretical studies of some sulphonamides as corrosion inhibitors for mild steel in acidic medium, *Int. J. Quantum Chem.*, 110, 2614-2636.
- [14] Amin, M. A., Ahmed, M. A., Arida, H. A., Arslan, T., Saracoglu, M., Kandemirli, F. 2011. Monitoring corrosion and corrosion control of iron in HCl by non-ionic surfactants of the TRITON-X series-Part II. Temperature effect, activation energies and thermodynamics of adsorption, *Corros. Sci.*, 53, 540-548.
- [15] Amin, M. A., Ahmed, M. A., Arida, H. A., Kandemirli, F., Saracoglu, M., Arslan, T., Basaran, M. A. 2011. Monitoring corrosion and corrosion control of iron in HCl by non-ionic surfactants of the TRITON-X series-Part III. Immersion time effects and theoretical studies, *Corros. Sci.*, 53, 1895-1909.
- [16] Zor, S., Saracoglu, M., Kandemirli, F., Arslan, T. 2011. Inhibition effects of amides on the corrosion of copper in 1.0 M HCl: Theoretical and experimental studies, *Corrosion*, **67**, 12, 125003-1-125003-11 (11 pages).
- [17] Kandemirli, F., Saracoglu, M., Bulut, G., Ebenso, E., Arslan, T., Kayan, A. 2012. Synthesis and theoretical study of zinc(II) and nickel(II) complexes of 5-methoxyisatin 3-[N-(4-chlorophenyl)thiosemicarbazone], *ITB J. Science (J. Math. and Fund. Sci.)*, 44A, 35-50.
- [18] Amin, M. A., Hazzazi, O. A., Kandemirli, F., Saracoglu, M. 2012. Inhibition performance and adsorptive behaviour of three amino acids on cold rolled steel in 1.0 M HCl-chemical, electrochemical and morphological studies, *Corrosion*, 68, 688-698.
- [19] Kandemirli, F., Saracoglu, M., Amin, M. A., Basaran, M. A., Vurdu, C. D. 2014. The Quantum chemical calculations of serine, threonine and glutamine, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 9, 3819-3827.
- [20] Amin, M. A., El-Bagoury, N., Saracoglu, M., Ramadan, M. 2014. Electrochemical and corrosion behavior of cast re-containing inconel 718 alloys in sulphuric acid solutions and the effect of Cl⁻, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 9, 5352-5374.
- [21] Kandemirli, F., Vurdu, C. D., Saracoglu, M., Akkaya, Y., Cavus, M. S. 2015. Some molecular properties and reaction mechanism of synthesized isatin thiosemicarbazone and its zinc(II) and nickel(II) complexes, *Int. Res. J. Pure and Applied Chem.*, 9, 1-16.
- [22] El-Bagoury, N., Amin, M. A., Saracoglu, M. 2015. Effect of aging treatment on the electrochemical and corrosion behavior of nitire shape memory alloy, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 10, 5291-5308.
- [23] İlhan, İ. Ö., Çadır, M., Saracoglu, M., Kandemirli, F., Kökbudak, Z., Akkoç, S. 2015. The reactions and quantum chemical calculations of some pyrazole-3-carboxylic acid chlorides with various hydrazides, *Chem. Sci. Rev. Lett.*, 4, 838-850.
- [24] Amin, M. A., Fadlallah, S. A., Alosaimi, G. S., Kandemirli, F., Saracoglu, M., Szunerits, S., Boukherroub, R. 2016. Cathodic activation of titanium-supported gold nanoparticles: an efficient and stable electrocatalyst for the hydrogen evolution reaction, *Int. J. Hyd. Energy*, 41, 6326-6341.
- [25] Tazouti, A., Galai, M., Touir, R., Ebn Touhami, M., Zarrouk, A., Ramli, Y., Saraçoğlu, M., Kaya, S., Kandemirli, F., Kaya, C. 2016. Experimental and theoretical studies for mild steel corrosion inhibition in 1 M HCl by three new quinoxalinone derivatives, *J. Mol. Liquids*, 221, 815-832.
- [26] Amin, M. A., Saracoglu, M., El-Bagoury, N., Sharshar, T., Ibrahim, M. M., Wysocka, J., Krakowiak, S., Ryl, J. 2016. Microstructure and corrosion behaviour of carbon steel and ferritic and austenitic stainless steels in NaCl solutions and the effect of p-Nitrophenyl phosphate disodium salt, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 11, 10029-10052.
- [27] Saracoglu, M., Kandemirli, F., Ozalp, A., Kokbudak, Z. 2017. Synthesis and quantum chemical calculations of 2,4-dioxopentanoic acid derivatives-Part I, *Chem. Sci. Rev. Lett.*, 6, 1-11.

- [28] Saracoglu, M., Kandemirli, F., Ozalp, A., Kokbudak, Z. 2017. Synthesis and quantum chemical calculations of 2,4-dioxopentanoic acid derivatives-part II, *Int. J. Sci. Eng. Inv.*, 6, 50-57.
- [29] Saima, B., Khan, A., Un Nisa, R., Mahmood, T., Ayub, K. 2016. Theoretical insights into thermal cyclophanedienene to dihydropyrene electrocyclic reactions; a comparative study of Woodward Hoffmann allowed and forbidden reactions, *J. Mol. Model.*, 22, 81 (9 pages).
- [30] Saracoglu, M., Elusta, M. I. A., Kaya, S., Kaya, C., Kandemirli, F. 2018. Quantum chemical studies on the corrosion inhibition of Fe₇₈B₁₃Si₉ glassy alloy in Na₂SO₄ solution of some thiosemicarbazone derivatives, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 13, 8241-8259.
- [31] Saracoglu, M., Kokbudak, Z., Çimen, Z., Kandemirli, F. 2019. Synthesis and DFT Quantum Chemical Calculations of Novel Pyrazolo[1,5-c]pyrimidin-7(1H)-one Derivatives, *J. Chem. Soc. Pak.*, 41, 5-841-858.
- [32] Saracoglu, M., Kandemirli, S.G., Başaran, A., Sayiner, H., Kandemirli, F. 2011. Investigation of structure-activity relationship between chemical structure and CCR5 anti HIV-1 activity in a class of 1-[N-(methyl)-N-(phenylsulfonyl)amino]-2-(phenyl)-4-[4-(substituted)piperidin-1-yl] butanes derivatives: The electronic-topological approach, *Curr. HIV Res.*, 9, 300-312.
- [33] Saracoglu, M., Kandemirli, F., Amin, M. A., Vurdu, C. D., Cavus, M. S., Sayiner, G. 2015. The quantum chemical calculations of some thiazole derivatives, *Proceedings of the 3rd International Conference on Computation for Science and Technology (ICCST-3)*, Published by *Atlantis Press*, 5, 149-154.
- [34] Khaled, K. F. 2010. Studies of iron corrosion inhibition using chemical, electrochemical and computer simulation techniques, *Electrochim. Acta*, 55, 6523-6532.
- [35] Dewar, M. J., Thiel, W. 1977. Ground states of molecules. 38. The MNDO method. Approximations and parameters, *J. Am. Chem. Soc.*, 99, 4899-4907.
- [36] Pearson, R. G. 1990. Hard and soft acids and bases-the evolution of a chemical concept, *Coord. Chem. Rev.*, 100, 403-425.
- [37] Pauling, L. 1960. *The Nature of the Chemical Bond*, Cornell University Press, Ithaca, New York.
- [38] Parr, R. G., Pearson, R.G. 1983. Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity, *J. Am. Chem. Soc.*, 105, 7512-7516.
- [39] Chattaraj, P. K., Sarkar, U., Roy, D.R. 2006. Electrophilicity index, *Chem. Rev.*, 106, 2065-2091.
- [40] Ebenso, E. E., Kabanda, M. M., Arslan, T., Saracoglu, M., Kandemirli, F., Murulana, L. C., Singh, A. K., Shukla, S. K., Hammouti, B., Khaled, K. F., Quraishi, M. A., Obot, I. B., Edd, N. O. 2012. Quantum chemical investigations on quinoline derivatives as effective corrosion inhibitors for mild steel in acidic medium, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7, 5643-5676.
- [41] Ding L, Ying H, Zhou Y, Lei T, Pei J. 2010. Polycyclic imide derivatives: Synthesis and effective tuning of lowest unoccupied molecular orbital levels through molecular engineering, *Org. Lett.* 12(23), 5522-5525.
- [42] Abbaz, T., Benjeddou, A., Villemin, D. 2018. Molecular structure, HOMO, LUMO, MEP, Natural bond orbital analysis of benzo and Anthraquinodimethane Derivatives. *Pharmaceutical and Biological Evaluations* 5(2) 27-39.
- [43] Krishnan, R., Binkley, J. S., Seeger, R., et al. 1980. Self-consistent molecular orbital methods. XX. A basis set for correlated wave functions, *Journal of Chemical Physics*, 72, 650-655.
- [44] Ben Ahmed, A., Feki, H., Abid, Y., Boughzala, H., Mlayah, A. 2008. Structural, vibrational and theoretical studies of l-histidine bromide, *J. Mol. Struct.*, 888, 1-3, 180-186.
- [45] Janjua, M. R. S. A., Mahmood, A., Ahmad, F. 2013. Solvent effects on nonlinear optical response of certain tetrammineruthenium (II) complexes of modified 1,10-phenanthrolines, *Can. J. Chem.*, Vol. 91 (12), 1303-1309
- [46] Mikkelsen, K. V.; Luo, Y.; Agren, H.; Jørgensen, P. J. 1994. Solvent induced polarizabilities and hyperpolarizabilities of para-nitroaniline studied by reaction field linear response theory *J. Chem. Phys.*, 100, 8240-8250.
- [47] Bartkowiak, W.; Lipinski, J. 1998. Solvent effect on the nonlinear optical properties of para-nitroaniline studied by Langevin dipoles–Monte Carlo (LD/MC) approach, *Comput. Chem.* 22 (1), 31-37.
- [48] Govindarajan, M., Karabacak, M. 2012. FT-IR, FT-Raman and UV spectral investigation; computed frequency estimation, analysis and electronic structure calculations on 1-nitronaphthalene, *Spectrochimica Acta Part A*, 85, 251-260.

Bulanık Ortamda Tedarikçi Seçimi

Özgür DEMİRTAŞ¹, Fulya ZARALI^{2*}, Sermed DOĞAN³

¹Kayseri Üniversitesi, Develi Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, KAYSERİ

^{2*}Kayseri Üniversitesi, Develi Hüseyin Şahin MYO, Lojistik Programı, KAYSERİ

³Kayseri Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Sağlık Kurumları İşletmeciliği Programı, KAYSERİ

(Alınış / Received: 11.03.2020, Kabul / Accepted: 26.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Tedarikçi Seçimi
Çok Kriterli karar verme
Bulanık EDAS

Öz: Tedarikçi seçim süreci, işletme ihtiyaçlarını karşılayabilme yeterliliği en yüksek olan tedarikçiyi seçme olgusuna dayandığından tedarik zincirinde verilmesi gereken en önemli kararlar arasında yer almaktadır. Seçim sürecinde sadece nicel ya da nitel kriterleri dikkate alınmanın ötesinde işletme faaliyetlerini etkileyen tüm alternatif kararlar değerlendirilir. Bu çalışmada tedarik zinciri yönetiminin önemli bir halkası olan tedarikçi seçim süreci, Kayseri’de faaliyet gösteren bir işletmenin araç satın alma sürecine yönelik uygulanmıştır. Yöntem olarak bulanık EDAS (Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın karar kriterleri literatürde sunulan ve yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın karar kriterleri literatürde sunulan ve ağırlıkta değerlendirme sürecinde ele alınan kriterlerden oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda değerlendirilen kriterler arasında ürün kalitesi en önemli kriteri oluştururken en uygun tedarikçi ise birinci tedarikçi olarak tespit edilmiştir

Supplier selection in fuzzy environment

Keywords

Supplier selection
Multi-criteria decision
making
Fuzzy EDAS

Abstract: The supplier selection process is an important decision that was made in the supply chain, as it is based on the fact of choosing the supplier with the highest ability to meet business needs. In the selection process, all alternative decisions that affect business activities are evaluated, not only considering the quantitative or qualitative criteria. In this study, the supplier selection process, which is an important link of supply chain management, was applied for the vehicle purchase process of an enterprise operating in Kayseri. For the aim of the study, we used Fuzzy EDAS((Evaluation based on Distance from Average Solution) method. The decision criterias of the study were established from the criterias that were given in the literature. According to the results, product quality was seen as the most important criteria, and the most suitable supplier was seen as the first supplier.

*İlgili Yazar, email: fzarali@gmail.com

1.Giriş

Komplike bir yapı gösteren işletmeler, inovasyon ya da yıkıcı etki yaratan gelişmelere ulaşma ve güncel adımlar atabilme adına teknik, operasyonel, yönetsel ve sürdürülebilir stratejik tercihlere ihtiyaç duymaktadır. Bu gereksinim ise müşteri taleplerindeki artış, teknolojik imkanlar ve yenilikler düzeyindeki değişimlere bağlı olarak müşteri ihtiyaçları farklılaşmış ve daha düşük fiyat ile daha yüksek kalitenin aynı anda talep etmeye başlanmasından ileri gelmektedir [1]. İşletmelerin müşteri ihtiyaçları ve beklentilerinde yaşanan değişime cevap verebilmesi tedarik sürecini etkin yönetebilmesi ile mümkün olabilmektedir.

Tedarik süreci, firmanın mevcut durum analizi sonucunda ihtiyacın ortaya çıkması ile başlamaktadır. İşletmeler tedarik sürecinde karar alırken; rekabet koşullarında varlığını sürdürme, kaynakları maliyet-etkililik doğrultusunda yönlendirme, rekabet üstünlüğünün sürekliliği, ortalamanın üzerinde gelir elde

etme gibi unsurları etkilemesi bakımından uygulama aşamasında hangi yöntemin benimseneceğine ilişkin birbiriyle çelişen pek çok kriter etken olabilmektedir. Karar sürecinin karmaşık yapısı, içinde bulunduğumuz zaman dilimine göre şekillenmesi ayrıca kararların farklılaşması ve sayıca artması yeni yöntem önerilerini bir bakıma zorunlu kılmaktadır [2]. Ancak karar verme sürecinde belirsizlikleri daha net bir biçimde ortaya koymak yerine yalnızca niceliksel kriterler dikkate alınarak model yapısını belirleme [3], eksik bilgiler ve yanlış tercihler gibi birçok etki faktörü dikkate alınmamaktadır [4].

Tedarikçi seçim problemi, çok sayıda alternatif arasından ihtiyaçlara cevap verebilme yetisi en yüksek olan kriterleri seçme zorluğudur. Kararların doğru bir biçimde alınması ise tedarikçilerden müşteriye kadar uzanan süreç içerisinde [5], işlevsel alanlarda daha fazla iletişim, etkileşim ve bilgi akışını sağlayan analitik yöntemlerin varlığı ile ilgilidir [6]. İşletmeler için kısa, orta ve uzun vadeli hedeflerin gerçekleştirilmesinde maksimum fayda getirecek tedarikçi seçimi, çok sayıda kriterin dikkate alınması ile gerçekleştirilir [7]. Bu nedenle çok kriterli bir problemdir ve en iyi tedarikçi seçimi için çelişkili maddi ve maddi olmayan faktörler arasında bir takas yapmayı [8] bunlarla birlikte sistematik ve şeffaf bir yaklaşım sürecini gerektirmektedir [9]. Ayrıca organizasyonlar için verilmesi gereken en önemli kararlar [1] arasında olmakla birlikte bir dizi fiyat listesini taramaktan çok daha fazlasını gerektirir ve seçim hem nicel hem de nitel değişkenleri içeren çok çeşitli faktörlere bağlı olabilmektedir [10].

Karar verme aşamasında birçok kriterin kısıtlılık göstermesi nedeniyle karar alım süreci bulanık bir ortamda gerçekleştirilirken karar alımı da oldukça güçtür. Karmaşıklığa yol açan bulanık ortam, girdi verilerindeki belirsizlik olarak ifade edilebilir [11]. Zadeh, karar verme süreçlerinde belirsizliklerle başa çıkmak için bulanık küme teorisini geliştirmiştir [12]. Bulanık küme teorisi, tedarikçi seçim probleminde belirsizliğin olduğu durumlarda kullanılmaktadır [13]. Bu doğrultuda tedarikçi seçim sürecinin yaratmış olduğu belirsizlik bulutunun önüne geçmek ve karar verme aşamasında çok kriterli karar verme yöntemlerinden bulanık EDAS kullanılarak tedarikçiler arasından en uygun ve verimli olanını seçmek çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. Literatür Taraması

2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi

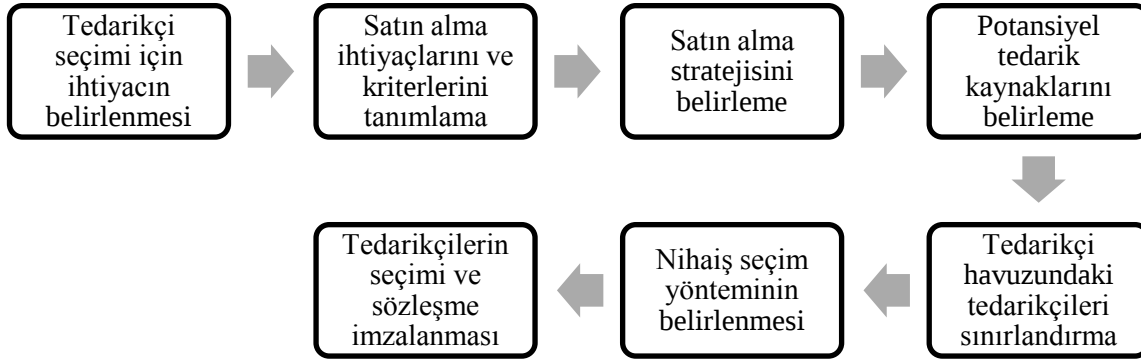
Tedarik zinciri yönetimi literatürde dikkat çekmekle [14] birlikte araştırmacılar tarafından farklı vurgulamalarda bulunularak tanımlaması yapılmıştır. Genel bir ifade olarak tedarik zinciri, malların bir yerden bir yere taşınması değil [15] yönetim, üretim ve tedarik sürecinin her bir elemanın hammaddeden son kullanıcıya kadar çeşitli örgütsel sınırları kapsayan bir zincir olarak ifade edilmektedir [16]. Başka bir tanımda ise; ana müşterilere, ürünlere, hizmetlere ve diğer paydaşlara değer katan [17], bitmiş bir ürünün son kullanıcıya veya müşteriye tesliminde yer alan karmaşık bir faaliyet ağının koordinasyonu [18], iç-dış tedarik zinciri [19] ve tedarik zincirinin faaliyetlerini verimli bir şekilde planlama, uygulama ve kontrol etme süreci şeklinde ifade edilmektedir [20].

Küreselleşme olgusu, iletişim ve bilgi teknolojisinde meydana gelen yıkıcı etkilerler birlikte, rekabetçi baskıların artması işletmeleri hayatta kalabilme ve varlığını sürdürebilme bağlamında belirli standartlara yönlendirmektedir [21]. Buna bağlı olarak işletmelerin rekabet edilebilirliği açısından ihtiyaçlara hızlı cevap verebilecek düşük maliyet ve yüksek kalitede hizmet sunumu, müşterilere mal ve hizmet sağlamak için karar verme süreçlerinde koordine, entegre tasarımı ve tüm bileşenlerin kontrolüne cevap verebilecek tedarik zincirini geliştirmeye zorlamaktadır [22]. Tedarik zinciri yönetiminde etkinliği ve başarıyı sağlamak için tüketicilere en optimal biçimde ulaşma yolları ve karşılaşılabilecek engellerde nasıl bir yöntem ile üstesinden gelineceği vurgulanması yapılırken müşteri beklentileri, küreselleşme, bilgi teknolojisi, hükümet düzenlemeleri, rekabet ve çevre unsurları da karar sürecine dahil edilmelidir [18]. Bu doğrultuda tedarik zinciri yönetimi, değişimlere hızlı cevap verebilme, ihtiyaçlara en iyi şekilde uyum sağlamak için gelişim ve değişim aktivasyonu [23], işlevler arasın entegrasyon ile sinerji yakalamayı [24], en iyi tedarik zinciri konfigürasyonunu bulma [20], verimlilik ve rekabet avantajını artırma [16], uzun vadeli performans iyileştirme [17], doğru nitelikte, doğru miktarda ürünün hasarsız ve tam zamanında aktarımı [25] ve maliyet avantajını öngörmektedir.

2.2. Tedarikçi Seçim Süreci Ve Seçim Kriterleri

Tedarikçi seçimi, ihtiyaç arzı gösteren hammaddelerin, yarı mamullerin, gerekli malzeme ve ekipmanın kimden ve ne kadar satın alınacağını belirlemenisidir [26;27]. Tedarikçi seçiminin amacı, bir firmanın ihtiyaçlarını sürekli ve kabul edilebilir bir maliyetle karşılama potansiyeli en yüksek tedarikçilerin tespiti

[28] başka bir ifade ile süreçlerin uyumlaştırılmasıyla en uygun tedarikçinin seçilmesidir [29]. Bu nedenle “optimal ortaklar” seçme, sistematik, şeffaf ve hedefe yönelik bir tedarikçi yönetim sürecini gerektirmektedir [30;9]. Ancak tedarikçi seçim süreci sadece fiyat ve kalite beklentisinin ötesinde, alıcının özel üretim ihtiyaçlarını karşılama [31], uzun vadeli ve stratejik uyum gibi niteliksel kriterler ile “gelecekteki üretim yeteneklerinin değerlendirilmesi” gibi kalitatif kriterleri [3;32], hizmet esnekliği ve değişikliklere cevap vermeyi içermektedir [7]. Mendoza [33] tarafından geliştirilen etkin bir tedarikçi seçim süreci; uygun tedarikçi için ihtiyacın kabul edilmesi, satın alma kriterlerinin ve stratejilerinin tespiti, tedarik kaynaklarının belirlenmesi, tedarikçilerin sınıflandırılması, uygun seçim yöntemi ile tedarikçilerin seçimi ve son aşama nihai sözleşmenin imzalanması olarak ifade edilmiş ve bu olgunlaşma süreci Şekil 1’e yansıtılmıştır [33].



Şekil 1. Tedarikçi Seçim Süreci

Belirtilen değerlendirmeler doğrultusunda tedarikçi seçim süreci, en iyi tedarikçileri bulmak için çelişkili maddi ve maddi olmayan faktörler arasında bir denge kurarak tedarik maliyetini en aza indirmeyi, aynı zamanda kalite ve hizmet performansını en üst düzeye çıkarmayı hedefleyen çok amaçlı bir karar verme problemidir [34]. Tedarikçi seçimine yönelik ilk çalışmalardan biri Dickson [35] tarafından gerçekleştirilmiş ve Dickson, satın alma yöneticilerinden elde edilen verilere dayanarak tedarikçi seçimi için 23 önemli değerlendirme kriteri belirlemiştir. Bu kriterler arasında ürün kalitesi, teslimata yönelik geçmiş performans ve garanti politikası en önemli üç kriter olarak ifade edilmiştir [27]. Tedarikçi seçim sürecine yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda kalite, fiyat, esneklik, zamanında teslimat gibi kriterler üzerine odaklanılmıştır. Swift [29] tedarik kararlarında satın alma yöneticileri arasında farklılığın olup olmadığını belirlemeye yönelik gerçekleştirilen çalışmada, tedarikçi seçim kriterleri olarak fiyat, ürünün güvenilirliği, mevcut teknik destek ve ürünün toplam maliyeti olarak ifade edilmiştir. Weber ve Ellram [31] satın alıcıya karar verme sürecinde belirli alternatifler sunarak çok amaçlı bir programlama modeli geliştirilmiş ve tedarikçi seçiminde fiyat, kalite ve teslimat kriterlerine vurgu yapılmıştır. Håkansson ve Wootz [36] tedarikçi seçiminde alıcı kararını etkileyen kriterleri, tedarikçi özellikleri (itibar ve büyüklük) ve teklif özellikleri (fiyat ve kalite) olarak iki gruba ayırmışlardır. Humphreys ve arkadaşları [37] çevresel faktörleri tedarikçi seçim sürecine entegre eden bilgi tabanlı bir sistem geliştirilerek bu sistemde fiyat, kalite ve esneklik kriterleri dikkate alınmıştır. Öz ve Baykoç [38] uzman sistemlerinin diğer yöntemlere göre daha gerçekçi sonuçlar verdiğini ve tedarikçi değerlendirme ve seçme aşamasında tüm bileşenler için geçerli olan fiyat, kalite ve teslimat zamanı kriterlerini belirlemişlerdir. Pi ve Low [39] gereksinimleri karşılayacak tedarikçileri kalite, zamanında teslimat, fiyat ve servis gibi birden fazla kriter bakımından değerlendirmeye dahil etmişlerdir. Özel ve Özyörük [5] bulanık aksiyomatik tasarım kullanılarak tedarikçi seçim sürecini etkileyen kriterleri; fiyat, kalite esneklik ve teslim süresi bakımından değerlendirmişlerdir. Son olarak Sarkis ve Talluri [40] stratejik ve operasyonel faktörler üzerinde kalite, teslimat ve esneklik gibi kriterleri etkisini vurgulamışlardır. Tedarikçi seçimiyle ilgili belirtiler doğrultusunda uygun tedarikçi seçimi için kalite, fiyat, esneklik ve teslimat performansları gibi birçok nicel ve nitel faktörler dikkate alınmalıdır [4].

Çalışmalarda tedarikçi seçim süreci farklı kriterler ile ele alınmakla birlikte seçim sürecinde de farklı yöntemlerin uygulandığı gözlemlenmiştir. Bu yöntemler arasında çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Literatürde ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar

incelendiğinde genel olarak; personel seçimi, birimlerin etkinliklerinin ölçülmesi, tedarikçi seçimi ve yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi gibi alanları kapsamaktadır. Bu bağlamda ÇKKV, karar sürecini kriterlere göre modelleme ve karar vericinin süreç sonunda elde edeceği faydaları en büyükleyecek şekilde analiz etme sürecine dayanır [2]. Çok kriterli karar verme süreçlerinde genellikle AHP [41;42;43;44;45;46], TOPSIS [47;48;49;50], ELECTRE [51;52;53], VIKOR [54;55;56;57] ve PROMETHEE [58;59;60;61] yöntemleri kullanılmaktadır.

İnsan kararları ve tercihleri genellikle belirsiz olmakla birlikte kesin bir sayısal değerle tahmin edilemediğinden dolayı gerçek hayat durumlarını modellemek için veriler yetersiz kalmaktadır [62;63]. Bu gibi durumlarda bulanık kümeler teorisi belirsizliklerle başa çıkmada en iyi araçlardan biridir [64]. Literatürde belirsizlikleri ortadan kaldırmak için çok kriterli karar verme yöntemleri olarak Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, Bulanık Ağırlıklı Çarpım, Bulanık Ağırlıklı Toplam, Bulanık PROMETHEE ve Bulanık TOPSIS yöntemleri önerilmektedir [65;66;67;68;69]. Araştırmada belirsizlikleri ortadan kaldırmak için geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemlerinde yeni bir yaklaşım olan Bulanık EDAS yöntemi kullanılmıştır.

3. Bulanık Mantık

Gerçek hayat problemleri birçok belirsiz kısıtlar içermektedir ve karar vericiler alternatiflerin sonuçlarını kesin sayısal ifadelerle değerlendiremezler. Bu nedenle, verilerde olabilecek eksiklikler ve karar vericinin algısına dayanan belirsizlikler için bulanık mantık en etkili ve en uygun yöntemdir [70]. Bulanık mantık, 1965 yılında Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Zadeh, bulanık mantık da kesin belli olan değerler yerine yaklaşık değerler kullanmış ve bilgi çok az, az, küçük, büyük şeklinde dilsel ifadeler ile tanımlanmıştır [71]. Bu çalışmada belirsiz ortamlarda tedarikçi seçim problemini ele almak için yeni bir yöntem olan Bulanık EDAS yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yöntemde alternatifler ve kriterlerin değerlendirilmesinde üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. $A = (a_1, a_2, a_3)$ bulanık sayı olmak üzere Eşitlik 1'de üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu verilmiştir Ghorabae ve diğerleri [72]

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \end{cases} \text{ Ve 0 diğer durumlarda} \quad (1)$$

İki üçgen bulanık sayı A ve B olmak üzere $A = (a_1, a_2, a_3)$, $B = (b_1, b_2, b_3)$ ve k sabit sayısının bulanık sayılarla aritmetik işlemleri Eşitlik 2'den Eşitlik 9'a kadar aşağıda tanımlanmıştır.

- Toplama:

$$A \oplus B = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2)$$

$$A + k = (a_1 + k, a_2 + k, a_3 + k) \quad (3)$$

- Çıkarma:

$$A \ominus B = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (4)$$

$$A - k = (a_1 - k, a_2 - k, a_3 - k) \quad (5)$$

- Çarpma:

$$A \otimes B = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3) \quad (6)$$

$$A \times k = \begin{cases} (a_1 \times k, a_2 \times k, a_3 \times k) & \text{eğer } k > 0 \\ (a_3 \times k, a_2 \times k, a_1 \times k) & \text{eğer } k < 0 \end{cases} \quad (7)$$

- Bölme:

$$A \oslash B = (a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1) \quad (8)$$

$$A \div k = \begin{cases} (a_1/k, a_2/k, a_3/k) & \text{eğer } k > 0 \\ (a_3/k, a_2/k, a_1/k) & \text{eğer } k < 0 \end{cases} \quad (9)$$

$A = (a_1, a_2, a_3)$ üçgen bulanık sayısı olmak üzere A bulanık sayısının durulaştırılmış değeri eşitlik 10'da verilmiştir.

$$k(A) = \frac{1}{3}(a_1 + a_2 + a_3) \quad (10)$$

$A = (a_1, a_2, a_3)$ üçgen bulanık sayısı olmak üzere A bulanık sayısı ile sıfır arasındaki maksimum değeri bulmak için (ψ) fonksiyonu tanımlanmıştır. $\psi(A)$ fonksiyonu eşitlik 11'de verilmiştir.

$$\psi(A) = \begin{cases} A & \text{eğer } k(A) > 0 \\ 0 & \text{eğer } k(A) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

4. Bulanık Edas Yöntemi

EDAS yöntemi, Ghorabae ve ark. [73] tarafından önerilmiş çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir. Ghorabae ve ark. [72] EDAS yöntemini bulanık küme yaklaşımı ile birleştirerek Bulanık EDAS yöntemini geliştirmişlerdir. Bulanık EDAS yöntemini, tedarik seçimi problemi için kullanmışlar ve 5 tedarikçi firmayı 6 kritere göre değerlendirip seçim yapmışlardır. Ghorabae ve ark. [74] EDAS yöntemini aralıklı ikinci tip bulanık sayı ile birleştirerek taşeron firma seçimi için kullanmıştır. Çalışmada, inşaat sektörü için 8 alternatif ve 7 kritere göre taşeron firma seçimi yapılmıştır. Stevic ve ark. [75] pvc doğrama üreticisi seçimi, Zhank ve ark. [76] yeşil tedarik seçimi, Bayrakdaroglu ve Kundakçı [77] ar-ge proje seçimi için, Stevic ve ark. [78] tedarik seçimi için Bulanık EDAS yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca Kahraman ve ark. [79] EDAS yöntemini sezgisel bulanık sayılarla birleştirerek sezgisel Bulanık EDAS yöntemi ile Stanujkic ve ark. [80] EDAS yöntemini gri sayılarla birleştirerek gri EDAS yöntemini geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada, bulanık EDAS yöntemi kullanılarak tedarik seçimi yapılmıştır. Karar vericiler, kriterlerin ağırlıklarını ve her bir kritere göre alternatiflerin derecelendirmelerini sözel terimlerle ifade etmişler ve bu sözel terimler, üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Alternatifler kümesi A , kriterler kümesi K ve karar vericiler kümesi KV olmak üzere bulanık EDAS yönteminin adımları aşağıda verilmiştir [72]

:

$$\begin{aligned} A &= \{A_1, A_2, \dots, A_n\} \\ K &= \{K_1, K_2, \dots, K_m\} \end{aligned} \quad (12)$$

$$KV = \{KV_1, KV_2, \dots, KV_k\}$$

Adım 1: Birleştirilmiş karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} \quad (13)$$

$$x_{ij} = \frac{1}{k} \oplus_{p=1}^k x_{ij}^p \quad (14)$$

x_{ij}^p değeri A_i ($1 \leq i \leq n$) alternatifinin p .inci karar verici tarafından ($1 \leq p \leq k$) atanan K_j ($1 \leq j \leq m$) kriteri altında aldığı performans değerini göstermektedir.

Adım 2: Kriter ağırlıkları matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$W = [w_j]_{1 \times m} \quad (15)$$

$$w_j = \frac{1}{k} \oplus_{p=1}^k w_j^p \quad (16)$$

w_j^p , K_j ($1 \leq j \leq m$) kriterinin p . ($1 \leq p \leq k$) karar verici tarafından atanan ağırlık değeridir.

Adım 3: Ortalama çözüm matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$AV = [av_j]_{1 \times m} \quad (17)$$

$$av_j = \frac{1}{n} \oplus_{p=1}^k x_{ij} \quad (18)$$

av_j matris elemanları her kriter için alternatiflerin ortalama çözüm değerini ifade etmektedir. Bu nedenle bu matrisin boyutu kriter ağırlıkları matrisi boyutu ile eşittir.

Adım 4: B kümesi fayda kriterlerini ve N kümesi maliyet kriterlerini göstermektedir. Bu adımda, kriter tiplerine göre (fayda ve maliyet) ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$PDA = [pda_{ij}]_{n \times m} \quad (19)$$

$$NDA = [nda_{ij}]_{n \times m} \quad (20)$$

$$pda_{ij} = \begin{cases} \frac{\psi(x_{ij} \ominus av_j)}{k(av_j)} \\ \frac{\psi(av_j \ominus x_{ij})}{k(av_j)} \end{cases} \quad (21)$$

$$nda_{ij} = \begin{cases} \frac{\psi(av_j \ominus x_{ij})}{k(av_j)} \\ \frac{\psi(x_{ij} \ominus av_j)}{k(av_j)} \end{cases} \quad (22)$$

pda_{ij} ve nda_{ij} j .alternatifin i . kriter için ortalama çözüm değerinden pozitif ve negatif uzaklık performans değerini göstermektedir.

Adım 5: Bütün alternatifler için ağırlıklandırılmış pozitif ve negatif uzaklık değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$sp_i = \bigoplus_{j=1}^m (w_j \otimes pda_{ij}) \quad (23)$$

$$sn_i = \bigoplus_{j=1}^m (w_j \otimes nda_{ij}) \quad (24)$$

Adım 6: Bütün alternatifler için sp_i ve sn_i normalize değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$nsp_i = \frac{sp_i}{\max_i(k(sp_i))} \quad (25)$$

$$nsn_i = 1 - \frac{sn_i}{\max_i(k(sn_i))} \quad (26)$$

Adım 7: Bütün alternatifler için değerlendirme skoru (as_i) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$as_i = \frac{1}{2} (nsp_i \oplus nsn_i) \quad (27)$$

Adım 8: Alternatifler değerlendirme skorlarına göre (as_i) büyükten küçüğe sıralanır. Değerlendirme skoru büyük olan en iyi alternatif olarak belirlenir.

5.Uygulama

Bu bölümde, önerilen bulanık EDAS yöntemi ile tedarik seçim problemine çözüm geliştirilmiştir. Altı alternatif tedarikçi firma ($A1, A2, A3, A4, A5, A6$) alanında uzman 5 karar verici tarafından değerlendirilmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesinde, 16 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; ürün fiyatı ($K1$), üretim kapasitesi ($K2$), ürün kalitesi ($K3$), tedarik zamanı ($K4$), talep değişim esnekliği ($K5$), kalite alt yapısı ($K6$), finansal yapısı ($K7$), garanti politikaları ($K8$), servis imkanları ($K9$), Türkiye ortaklıklarına ulaşım ($K10$), milli imkan kullanımı ($K11$), coğrafi yakınlık ($K12$), firmanın referansları ($K13$), Ar-Ge yatırım oranları ($K14$), inovasyon performansı ($K15$), iletişim kanalları ($K16$) dır. Kriterler arasında ürün fiyatı ($K1$), maliyet kriteri ve diğer kriterler fayda kriteri olarak değerlendirilmiştir. 5 karar verici tarafından kriterler Tablo 1`deki [81] sözel değişkenler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonuçları Tablo 2`te verilmiştir. Ayrıca 6 alternatif, her bir kritere göre 5 karar verici tarafından Tablo 2`de yer alan sözel değişkenler kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 3`te verilmiştir.

Tablo 1: Değerlendirmede kullanılan sözel değişkenler ve üçgen bulanık sayı karşılıkları

Sözel Değişkenler	Kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan üçgen bulanık Sayılar		
Çok düşük (ÇD)	0	0	0,1
Düşük(D)	0	0,1	0,3
Orta Düşük(OD)	0,1	0,3	0,5
Orta(O)	0,3	0,5	0,7
Orta Yüksek (OY)	0,5	0,7	0,9
Yüksek (Y)	0,7	0,9	1
Çok yüksek(ÇY)	0,9	1	1

Tablo 2: Dört Karar Verici Tarafından Kriter Ağırlıklarının Sözel Değişkenler ile Değerlendirilmesi

Kriterler	KV-1	KV-2	KV-3	KV-4	KV-5
K1	ÇY	Y	ÇY	Y	Y
K2	ÇY	Y	Y	Y	Y
K3	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY
K4	Y	Y	ÇY	Y	ÇY
K5	Y	D	D	O	D
K6	Y	ÇY	ÇY	Y	Y
K7	O	D	D	D	O
K8	Y	Y	Y	O	Y
K9	D	OD	OD	D	D
K10	O	O	D	O	O
K11	Y	Y	Y	ÇY	Y
K12	D	OD	OD	D	D
K13	D	D	ÇD	D	ÇD
K14	O	O	Y	D	Y
K15	Y	ÇY	ÇY	Y	Y
K16	O	D	O	Y	O

Tablo 3: Karar Vericiler Tarafından Alternatiflerin Sözel Değişkenler ile Değerlendirilmesi

	KV-1						KV-2						KV-3						KV-4						KV-5					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6
K1	ÇY	Y	Y	O	D	Y	ÇY	Y	Y	Y	O	Y	ÇY	Y	O	O	D	O	ÇY	Y	O	O	Y	O	Y	ÇY	Y	O	Y	Y
K2	Y	Y	D	D	O	O	Y	Y	O	D	O	D	ÇY	ÇY	D	O	D	O	ÇY	Y	D	Y	O	O	Y	Y	Y	D	O	O
K3	ÇY	Y	Y	Y	D	O	Y	ÇY	Y	Y	O	D	Y	Y	Y	O	D	O	Y	ÇY	Y	Y	D	O	Y	Y	Y	O	Y	O
K4	Y	ÇY	O	Y	O	Y	Y	Y	O	O	O	Y	Y	Y	D	Y	O	Y	Y	Y	D	Y	O	Y	Y	ÇY	O	O	Y	O
K5	ÇY	Y	Y	O	O	Y	Y	Y	O	O	O	Y	Y	Y	Y	O	O	Y	Y	ÇY	Y	O	O	D	ÇY	Y	Y	O	Y	Y
K6	ÇY	Y	Y	D	D	O	ÇY	Y	Y	D	D	D	ÇY	Y	Y	Y	O	O	ÇY	Y	O	Y	D	O	Y	Y	Y	D	D	O
K7	Y	ÇY	O	O	D	D	Y	ÇY	O	O	Y	D	Y	ÇY	O	O	D	D	Y	Y	O	O	D	D	Y	ÇY	O	O	O	O
K8	Y	Y	D	D	ÇD	ÇD	Y	ÇY	O	Y	O	O	Y	Y	O	D	D	O	ÇY	Y	D	Y	O	O	Y	Y	O	D	O	O
K9	Y	Y	O	O	O	O	ÇY	Y	O	O	O	D	Y	Y	O	O	O	O	Y	ÇY	O	O	O	O	Y	Y	Y	O	Y	O
K10	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	Y	Y	ÇY	O	Y	Y	Y	ÇY	ÇY	Y	O	Y	Y
K11	ÇY	Y	Y	O	Y	O	ÇY	Y	Y	D	Y	O	ÇY	Y	Y	O	O	O	ÇY	Y	Y	O	Y	O	Y	ÇY	Y	O	Y	O
K12	Y	Y	Y	O	D	D	Y	ÇY	Y	O	Y	O	Y	Y	Y	D	D	O	Y	Y	Y	Y	D	O	Y	Y	Y	O	Y	O
K13	ÇY	ÇY	Y	O	O	O	Y	Y	O	O	O	O	Y	ÇY	O	O	O	O	Y	Y	O	O	Y	O	Y	ÇY	Y	O	O	O
K14	Y	Y	O	D	D	D	Y	Y	O	D	D	D	ÇY	Y	O	D	D	D	ÇY	ÇY	O	Y	D	D	Y	Y	Y	D	Y	D
K15	Y	Y	Y	O	O	D	Y	Y	Y	O	Y	Y	Y	ÇY	Y	O	O	O	Y	Y	O	O	Y	D	Y	ÇY	Y	O	Y	Y
K16	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ÇY	O	O	Y	Y	ÇY	Y	Y	O	O	Y	ÇY	Y	O	Y	Y	D	Y	ÇY	Y	O	Y	Y

Karar vericiler tarafından değerlendirilen alternatiflerin, bulanık değerleri ve bulanık kriter ağırlıkları sırasıyla Eşitlik 14 ve Eşitlik 16 kullanılarak birleştirilmiş ve Tablo 4’de verilmiştir. Her bir kritere göre alternatiflerin birleştirilmiş bulanık değerleri Tablo 5’de verilmiştir. Elde edilen birleştirilmiş karar matrisi kullanılarak Eşitlik 18 yardımıyla her kriter için alternatiflerin ortalama çözüm değerleri elde edilmiştir. Ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA) Eşitlik 19 ve 20 kullanılarak oluşturulmuştur. Tüm alternatifler için ortalama değere olan pozitif ve negatif uzaklıklar Eşitlik 21 ve 22 yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler Tablo 6 ve Tablo 7’de verilmiştir. Bu tablolardaki ortalamadan pozitif uzaklık ve ortalamadan negatif uzaklık değerleri elde edilirken, üçgen bulanık sayı ile sıfır arasındaki maksimum değeri bulmak için Eşitlik 12’de yer alan μ fonksiyonundan faydalanılmıştır. Daha sonra Eşitlik 23 ve 24 kullanılarak pozitif ve negatif uzaklık değerleri kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış pozitif ve negatif uzaklıklar hesaplanmıştır. Uzaklık değerleri Eşitlik 25 ve 26 kullanılarak normalize edilmiştir. Normalize ağırlıklı uzaklık değerleri Eşitlik 27 kullanılarak her alternatif için değerlendirme puanı hesaplanmış ve hesaplanan tüm bu değerler Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 4: Birleştirilmiş Bulanık Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Kriter Ağırlıkları		
K1	0,78	0,94	1,00
K2	0,74	0,92	1,00
K3	0,90	1,00	1,00
K4	0,78	0,94	1,00
K5	0,20	0,34	0,52
K6	0,78	0,94	1,00
K7	0,06	0,26	0,46
K8	0,56	0,74	0,86
K9	0,04	0,18	0,38
K10	0,24	0,42	0,62
K11	0,74	0,92	1,00
K12	0,04	0,18	0,38
K13	0,00	0,06	0,58
K14	0,40	0,58	0,74
K15	0,78	0,94	1,00
K16	0,32	0,50	0,68

Tablo 5: Karar Matrisi

	A1			A2			A3			A4			A5			A6			AV		
K1	0,86	0,98	1,00	0,74	0,92	1,00	0,54	0,74	0,88	0,38	0,58	0,76	0,34	0,50	0,66	0,54	0,74	0,88	0,57	0,74	0,86
K2	0,78	0,94	1,00	0,74	0,92	1,00	0,20	0,34	0,52	0,20	0,34	0,52	0,24	0,42	0,62	0,24	0,42	0,62	0,40	0,56	0,71
K3	0,74	0,92	1,00	0,78	0,94	1,00	0,70	0,90	1,00	0,54	0,74	0,88	0,20	0,34	0,52	0,24	0,42	0,62	0,53	0,71	0,84
K4	0,70	0,90	1,00	0,78	0,94	1,00	0,18	0,34	0,54	0,54	0,74	0,88	0,38	0,58	0,76	0,62	0,82	0,94	0,53	0,72	0,85
K5	0,78	0,94	1,00	0,74	0,92	1,00	0,62	0,82	0,94	0,30	0,50	0,70	0,38	0,58	0,76	0,56	0,74	0,86	0,56	0,75	0,88
K6	0,86	0,98	1,00	0,70	0,90	1,00	0,62	0,82	0,94	0,28	0,42	0,58	0,06	0,18	0,38	0,24	0,42	0,62	0,46	0,62	0,75
K7	0,70	0,90	1,00	0,86	0,98	1,00	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,20	0,34	0,52	0,06	0,18	0,38	0,40	0,57	0,72
K8	0,74	0,92	1,00	0,74	0,92	1,00	0,18	0,34	0,54	0,28	0,42	0,58	0,18	0,32	0,50	0,24	0,40	0,58	0,39	0,55	0,70
K9	0,74	0,92	1,00	0,74	0,92	1,00	0,38	0,58	0,76	0,30	0,50	0,70	0,38	0,58	0,76	0,24	0,42	0,62	0,46	0,65	0,81
K10	0,78	0,94	1,00	0,82	0,96	1,00	0,62	0,82	0,94	0,62	0,82	0,94	0,62	0,82	0,94	0,70	0,90	1,00	0,69	0,88	0,97
K11	0,86	0,98	1,00	0,74	0,92	1,00	0,70	0,90	1,00	0,24	0,42	0,62	0,62	0,82	0,94	0,30	0,50	0,70	0,58	0,76	0,88
K12	0,70	0,90	1,00	0,74	0,92	1,00	0,70	0,90	1,00	0,32	0,50	0,68	0,20	0,34	0,52	0,24	0,42	0,62	0,48	0,66	0,80
K13	0,74	0,92	1,00	0,82	0,96	1,00	0,46	0,66	0,82	0,30	0,50	0,70	0,32	0,50	0,68	0,30	0,50	0,70	0,49	0,67	0,82
K14	0,78	0,94	1,00	0,74	0,92	1,00	0,38	0,58	0,76	0,20	0,34	0,52	0,14	0,26	0,44	0,00	0,10	0,30	0,37	0,52	0,67
K15	0,70	0,90	1,00	0,78	0,94	1,00	0,62	0,82	0,94	0,30	0,50	0,70	0,54	0,74	0,88	0,34	0,50	0,66	0,55	0,73	0,86
K16	0,82	0,96	1,00	0,78	0,94	1,00	0,54	0,74	0,88	0,46	0,66	0,82	0,62	0,82	0,94	0,56	0,74	0,86	0,63	0,81	0,92

Tablo 6: Tüm Alternatiflerin Ortalamaya Pozitif Uzaklık Değerleri

	A1			A2			A3			A4			A5			A6		
K1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,43	0,00	0,45	-0,27	0,23	0,67	-0,13	0,24	0,72	-0,43	0,00	0,45
K2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,21	0,40	0,92	-0,21	0,40	0,92	-0,39	0,14	0,85	-0,39	0,26	0,85
K3	-0,14	0,30	0,67	-0,10	0,33	0,67	-0,20	0,27	0,67	-0,43	0,04	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K4	-0,22	0,26	0,66	-0,13	0,31	0,66	0,00	0,00	0,00	-0,45	0,03	0,49	0,00	0,00	0,00	-0,33	0,14	0,58
K5	-0,13	0,26	0,60	-0,02	0,23	0,60	-0,35	0,10	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K6	0,17	0,59	0,88	-0,03	0,46	0,88	-0,22	0,33	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K7	-0,03	0,59	1,06	0,29	0,74	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K8	0,07	0,67	1,11	-0,10	0,67	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K9	-0,10	0,42	0,84	-0,27	0,42	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K10	-0,22	0,07	0,36	-0,08	0,10	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,32	0,03	0,36
K11	-0,02	0,30	0,57	-0,10	0,22	0,57	-0,24	0,19	0,57	0,00	0,00	0,00	-0,35	0,09	0,49	0,00	0,00	0,00
K12	-0,16	0,36	0,79	-0,12	0,39	0,79	-0,16	0,36	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K13	-0,12	0,37	0,77	0,29	0,43	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K14	0,21	0,80	1,20	-0,17	0,76	1,20	-0,56	0,11	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K15	-0,23	0,23	0,63	-0,17	0,29	0,63	-0,34	0,12	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K16	-0,12	0,19	0,47	-0,17	0,17	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo 7: Tüm Alternatiflerin Ortalamaya Negatif Uzaklık Değerleri

	A1			A2			A3			A4			A5			A6		
K1	0,00	0,33	0,60	0,05	0,24	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2	0,12	0,67	1,07	-0,14	0,64	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,37	0,92	-0,13	0,42	0,86
K4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,54	0,96	0,00	0,00	0,00	-0,32	0,14	0,67	0,00	0,00	0,00
K5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,19	0,34	0,79	-0,27	0,17	0,68	-0,41	0,01	0,43
K6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,20	0,33	0,77	0,13	0,44	1,13	-0,26	0,33	0,84
K7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,53	0,12	0,74	-0,53	0,12	0,74	-0,21	0,23	0,92	0,04	0,69	1,17
K8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,27	0,39	0,95	-0,34	0,24	0,77	-0,19	0,23	0,95	-0,34	0,28	0,84
K9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,46	0,11	0,67	-0,37	0,24	0,79	-0,46	0,07	0,67	-0,24	0,36	0,88
K10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,29	0,07	0,41	-0,29	0,07	0,41	-0,29	0,06	0,41	0,00	0,00	0,00
K11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,06	0,46	0,86	0,00	0,00	0,00	-0,17	0,35	0,78
K12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,30	0,25	0,74	-0,06	0,32	0,93	-0,21	0,37	0,87
K13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,50	0,02	0,54	-0,32	0,26	0,78	-0,29	0,17	0,75	-0,32	0,26	0,78
K14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,28	0,35	0,90	-0,13	0,26	1,01	0,14	0,81	1,28
K15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,21	0,33	0,79	-0,47	-0,01	0,45	-0,16	0,33	0,73
K16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,32	0,09	0,48	-0,24	0,19	0,58	-0,39	-0,01	0,38	-0,29	0,09	0,45

Tablo 8: Ağırlıklandırılmış Toplam Uzaklıklar, Normalize Değerleri ve Değerlendirme Sonuçları

	nspj			nsnj			asj			kasj	
A1	-0,10	0,89	2,21	0,97	0,68	0,42	0,43	0,78	1,31	0,84	
A2	-0,18	0,87	2,21	1,02	0,71	0,42	0,42	0,79	1,31	0,83	
A3	-0,46	0,41	1,46	1,13	0,68	-0,14	0,34	0,54	0,66	0,51	
A4	-0,32	0,19	0,74	1,32	0,37	-1,16	0,50	0,28	-0,21	0,19	
A5	-0,19	0,13	0,59	1,33	0,49	-1,47	0,57	0,31	-0,44	0,15	
A6	-0,28	0,11	0,60	1,31	0,16	-1,47	0,52	0,13	-0,44	0,07	

Tablo 8’de yer alan k(asj) değeri Eşitlik 10 kullanılarak hesaplanmıştır. k(asj) değerine göre alternatifleri sıraladığımızda; A1>A2>A3>A4>A5> A6 şeklinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre A1 alternatifi en iyi tedarikçi olarak seçilmelidir.

5.Sonuç

Tedarik zincirinin önemli bir halkasını oluşturan tedarikçi seçimi işletmeler için verilmesi gereken en önemli kararlardan birisidir. Çünkü tedarikçi seçimi sadece maliyete bakılarak değil hem nicel hem de nitel değişkenleri içeren çok çeşitli faktörlere bağlı bir karar verme sürecidir. Bu amaçla bu çalışmada nitel ve nicel faktörlerin dikkate alındığı Bulanık EDAS yöntemi ile Kayseri ilinde faaliyet gösteren bir işletme için tedarikçi seçimi yapılmıştır. 5 karar verici ile 6 tane alternatif seçilmiş ve bu alternatifler, ürün fiyatı, üretim kapasitesi, ürün kalitesi, tedarik zamanı, talep değişim esnekliği, kalite alt yapısı, finansal yapısı garanti politikaları, servis imkanları, Türkiye ortaklıklarına ulaşım, milli imkan kullanımı, coğrafi yakınlık firmanın referansları, Ar-Ge yatırım oranları, inovasyon performansı ve iletişim kanalları kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Kriterler 5 karar verici tarafından sözel olarak değerlendirilmiş ve değerlendirme sonucunda ürün kalitesi en önemli kriter olarak belirlenmiştir. 5 farklı karar vericiden görüş alınması çalışmanın sonuç etkinliğine katkı sağlamıştır. 6 alternatif karar vericiler tarafından sözel olarak değerlendirilmiş bulanık EDAS yöntemi ile en uygun 1. Tedarikçi seçilmiştir.

Mevcut çalışmanın tedarikçi seçim sürecinde bulanık EDAS yöntemi ile farklı bir uygulama ortaya koymasının literatüre önemli kazanımlar sağladığı düşünülmektedir. Çalışma ele alınan kriterler kapsamında her ne kadar literatürde sıklıkla değerlendirmeye ele alınan kriterler ile yapılmış olsa da bu durumun bir kısıt yaratabileceği ve diğer çalışmalarda bu durumun da dikkate alınabileceği, ayrıca gelecek araştırmalarda sezgisel bulanık EDAS yöntemi, gri EDAS yöntemi kullanılarak yöntemlerin karşılaştırılmasının yapılabileceği önerilmektedir.

Kaynakça

- [1] Dağdeviren, M., Eren, T. 2001. Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanımı. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 16(2), 41-52.
- [2] Yıldırım, B. F. 2018. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine Giriş ss 1-30. Önder, E., Yıldırım B. F., ed. 2018. Sağlık Yönetiminde Karar Verme – I, Dora Basım Yayını, Bursa, 425s.
- [3] Boer, L. D., Wegen, L., Telgen, J. 1998. Outranking Methods in Support of Supplier Selection. European Journal of Purchasing and Supply Management, 4(2-3), 109-118.
- [4] Chen, C., Lin, C., Huang, S. 2006. A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management. International Journal Production Economics, 102(2), 289-301.
- [5] Özel, B., Özyörük, B. 2007. Bulanık Aksiyomatik Tasarımı İle Tedarikçi Firma Seçimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(3), 415-423.
- [6] Vonderembse, M. A., Tracey, M. 1999. The Impact of Supplier Selection Criteria and Supplier Involvement on Manufacturing Performance. The Journal of Supply Chain Management, 35(2), 33-39.
- [7] Wang, J., Cheng, C.H., Kun-Cheng, H. 2009. Fuzzy Hierarchical TOPSIS for Supplier Selection. Applied Soft Computing, 9(1), 377-386.
- [8] Ghodsypour, S. H., O'Brien, C. 1998. A Decision Support System for Supplier Selection Using an Integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming. International Journal Production Economics, 56-57(1998), 199-212.
- [9] Boer L. D., Labro, E., Morlacchi, P. 2001. A Review of Methods Supporting Supplier Selection, European Journal of Purchasing and Supply Management, 7(2), 75-89.
- [10] Ho, W., Xu, X., Dey, P. K. 2010. Multi-Criteria Decision Making Approaches for Supplier Evaluation and Selection: A Literature Review. European Journal of Operational Research, 202(1), 16-24.
- [11] Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E. 2018. Green Supplier Selection Using Fuzzy Group Decision Making Methods: A Case Study for The Agri-food Industry. Computers and Operations Research, 89(2018), 337-347.
- [12] Amindoust, A., Ahmed, S., Saghafinia, A., Bahreininejad, A. 2012. Sustainable Supplier Selection: A Ranking Model Based on Fuzzy Inference System. Applied Soft Computing, 12(6), 1668-1677.
- [13] Amid, A., Ghodsypour, S. H., O'Brien, C. 2009. A Weighted Additive Fuzzy Multiobjective Model for the Supplier Selection Problem Under Price Breaks in a Supply Chain. International Journal Production Economics, 121(2), 323-332.
- [14] Verma, R., Pullman, M. E. 1998. An Analysis of the Supplier Selection Process. The International Journal of Management Science, 26(6), 739-750.

- [15] Tengilimoğlu, D., Yiğit, V. 2013. Sağlık İşletmelerinde Tedarik Zinciri ve Malzeme Yönetimi. Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi, Nobel Akademik Yayıncılık, 2. Basım, 422s.
- [16] Tan, K. C. 2001. A Framework of Supply Chain Management Literature. European Journal of Purchasing and Supply Management, 7(2001), 39-48.
- [17] Carter, C. R., Rogers, D. S. 2008. A Framework of Sustainable Supply Chain Management: Moving Toward New Theory. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 38(5), 360-387.
- [18] Hervani, A. A., Helms, M. M., Sarkis, J. 2005. Performance Measurement for Green Supply Chain Management. Benchmarking: An International Journal, 12(4), 330-353.
- [19] Harland, C. M. 1996. Supply Chain Management: Relationships, Chains and Networks. British Journal of Management, 7(Special Issue), 63-80.
- [20] Melo, M. T., Nickel, S., Gama, F. S. 2009. Facility Location and Supply Chain Management – A Review. European Journal of Operational Research, 196(2), 401-412.
- [21] Thomas, J. D., Griffin, P. M. 1996. Coordinated Supply Chain Management. European Journal of Operational Research, 94(1996), 1-15.
- [22] Spekman, R. E., Kamauff Jr, J. W., Myhr, N. 1998. An Empirical Investigation in to Supply Chain Management A Perspective on Partnerships. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 28(8), 630-650.
- [23] Surie, C., Wagner, M. 2005. Supply Chain Analysis ss 37-64. Stadtler, H., Kilger, C. ed. 2005. Supply Chain Management and Advanced Planning, Springer Publishing, Germany, 509s.
- [24] Lambert, D. M., Cooper, M. C. 2000. Issues in Supply Chain Management. Industrial Marketing Management, 29(1), 65-83.
- [25] Mentzer, J. T., Witt, W. D., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., Zacharia, Z. G. 2001. Defining Supply Chain Management. Journal of Business Logistics, 22(2), 1-25.
- [26] Liu, F. F., Hai, H. L. 2005. The Voting Analytic Hierarchy Process Method for Selecting Supplier. International Journal Production Economics, 97(3), 308-317.
- [27] Ecer, F., Küçük, O. 2008. Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Bir Uygulama. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11(1), 355-369.
- [28] Kahraman, C., Cebeci, U., Ulukan, Z. 2003. Multi-criteria Supplier Selectino Using Fuzzy AHP. Logistics Information Management, 16(6), 382-394.
- [29] Swift, C. O. 1995. Preferences for Single Sourcing and Supplier Selection Criteria. Journal of Business Research, 32(2), 105-111.
- [30] Lasch, R., Janker, C. G. 2005. Supplier Selection and Controlling Using Multivariate Analysis. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 35(6), 409-425.
- [31] Weber, C. A., Ellram, L. M. 1993. Supplier Selection Using Multi-objective Programming: A Decision Support System Approach. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 23(2), 3-14.
- [32] Görener, A. 2009. Kesici Takım Tedarikçisi Seçiminde Analitik Ağ Sürecinin Kullanımı. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 4(1), 99-110.
- [33] Demirtaş, Ö., Akdoğan, A. A. 2014. Bulanık Ortamda Tedarikçi Seçimi: Savunma Sanayii'ne Yönelik Bir Uygulama. Erciyes Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 43(2014), 203-222.
- [34] Xia, W., Wu, Z. 2007. Supplier Selection with Multiple Criteria in Volume Discount Environments. The International Journal of Management Science, 35(5), 494-504.
- [35] Dickson, W. G. 1966. An Analysis of Vendor Selection: Systems and Decisions. Journal of Purchasing, 1(2), 5-17.
- [36] Håkansson, H. Wootz, B. 1975. Supplier in an International Environment: An Experimental Study. Journal of Marketing Research, 12(1), 46-51.
- [37] Humphreys, P. K., Wong, Y. K., Chan, F. T. S. 2003. Integrating Environmental Criteria into the Supplier Selection Process. Journal of Materials Processing Technology, 138(1-3), 349-356.
- [38] Öz, E., Baykoç, Ö. F. 2004. Tedarikçi Seçimi Problemine Karar Teorisi Destekli Uzman Sistem Yaklaşımı. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(3), 275-286.

- [39] Pi, W., Low, C. 2006. Supplier Evaluation and Selection Via Taguchi Loss Functions and an AHP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27(5-6), 625-630.
- [40] Sarkis, J., Talluri, S. 2002. A Model for Strategic Supplier Selection. *The Journal of Supply Chain Management*, 38(4), 18-28.
- [41] Min, H. 1994. International Supplier Selection: A Multi-attribute Utility Approach. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 24(5), 24-33.
- [42] Levary, R. R. 2008. Using The Analytic Hierarchy Processto Rank Foreing Suppliers Based on Supply Risks. *Computer and Industrial Engineering*, 55(2). 535-542.
- [43] Chan, F. T. S., Chan, H. K. 2010. An AHP Model for Selection of Suppliers in the Fast Changing Fashion Market. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(9-12), 1195-1207.
- [44] Ishizaka, A., Pearman, C., Nemery, P. 2012. AHP Sort: An AHP-based Method for Sorting Problems. *International Journal of Production Research*, 50(17), 4767-4784.
- [45] Chamodrakas, I., Batis, D., Martakos, D. 2010. Supplier Selection in Electronic Marketplaces Using Satisficing and Fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 490-498.
- [46] Zeydan, M., Çolpan, C., Çobanoğlu, C. 2011. A Combined Methodology for Supplier Selection and Performance Evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2741-2751.
- [47] Awasthi, A., Chauhan, S. S., Goyal, S. K. 2010. A Fuzzy Multicriteria Approach for Evaluating Environmental Performance of Suppliers. *Interantional Journal of Production Economics*, 126(2), 370-378.
- [48] Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., Ignatius, J. 2012. A State-of The-art Survey of TOPSIS Applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051-13069.
- [49] Dalalah, D., Hayajneh, M., Batieha, F. 2011. A Fuzzy Multi-criteria Decision Making Model for Supplier Selection. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8384-8391.
- [50] Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., Akay, D. 2009. A Multi-criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making for Supplier Selection with TOPSIS Method. *Expert Systems with Applications* 36(8), 11363-11368.
- [51] Liu, P., Zhang, X. 2011. Research on the Supplier Selection of a Supply Chain Baesd on Entropy Weight and Improved ELECTRE-III Method. *International Journal of Production Research*, 49(3), 637-646.
- [52] Montazer, G. A., Saremi, H. Q., Ramezani, M. 2009. Desing a New Mixed Expert Decision Aiding System Using Fuzzy ELECTRE III Method for Vendor Selection. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 10837-10847.
- [53] Şevkli, M. 2010. An Application of the Fuzzy ELECTRE Method for Supplier Selection. *International Journal of Production Research*, 48(12), 3393-3405.
- [54] Chen, L. Y., Wang, T. 2009. Optimizing Partners' Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR. *Interantional Journal of Production Economics*, 120(1), 233-242.
- [55] Sanayei, A., Mousavi, S. F., Yazdankhah, A. 2010. Group Decision Making Process for Supplier Selection with VIKOR Under Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 24-30.
- [56] Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., Tarokh, M. J. 2011. A Fuzzy VIKOR Method for Supplier Selection Based on Entropy Measure for Objective Weighting. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12160-12167.
- [57] Akyüz, G. 2012. Bulanık VIKOR Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26(1), 197-215.
- [58] Chai, J., Liu, J. N. K., Ngai, E. W. T. 2013. Application of Decision-making Techniques in Supplier Selection: A Systematic Review of Literature. *Expert Systems with Applications*, 40(2013), 3872-3885.
- [59] Polat, G. 2016. Subcontractor Selection Using The Integration of The AHP and PROMETHEE Methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(8), 1042-1054.
- [60] Govindan, K., Kadziński, M., Sivakumar, R. 2017. Application of a Novel PROMETHEE-based Method for Construction of a Group Compromise Ranking to Prioritization of Green Suppliers in Food Supply Chain. *The International Journal of Management Science*, 71(2017), 129-145.
- [61] Peng, A., Xiao, X. 2013. Material Selection Using PROMETHEE Combined with Analytic Network Process Under Hybrid Environment. *Materails and Design*, 47(2013), 643-652.

- [62] Chen, C. 2000. Extensions of The TOPSIS for Group Decision-making Under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems* 114(2000), 1-9.
- [63] Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., Diabat, A. 2013. Integrated Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method and Multi-objective Programming Approach for Supplier Selection and Order Allocation in a Green Supply Chain. *Journal of Cleaner Production*, 47(2013), 355-367.
- [64] Amid, A., Ghodsypour, S. H., O'Brien, C. 2006. Fuzzy Multiobjective Linear Model for Supplier Selection in a Supply Chain. *International Journal Production Economics*, 104(2), 394-407.
- [65] Ertuğtul, İ., Karakaşoğlu, N. 2009. Performance Evaluation of Turkish Cement Firms with Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS Methods. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 702-715.
- [66] Triantaphyllou, E. Lin, C.T. 1996. Development and Evaluation of Five Fuzzy Multiattribute Decision-Making Methods. *International Journal of Approximate Reasoning*, 14(4), 281-310.
- [67] Guh, Y.Y., Hon, C.C., Wang, K.M., Lee, E.S. 1996. Fuzzy Weighted Average: A Max-Min Paired Elimination Method. *Computer and Mathematics with Applications*, 32(8), 115-123.
- [68] Chen, Y.H., Wang, T.C., Wu, C.Y. 2011. Strategic Decisions Using the Fuzzy PROMETHEE for IS Outsourcing. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 13216-13222.
- [69] Özçakar, N., Demir, H. H. 2011. Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Tedarikçi Seçimi. *Istanbul Management Journal*, 22(69), 25-44.
- [70] Schitea, D., Deveci, M., Iordache, M., Bilgili, K., Akyurt İZ, Iordache I. 2019. Hydrogen Mobility Roll-up Site Selection Using Intuitionistic Fuzzy Sets Based WASPAS, COPRAS and EDAS. *International Journal of Hydrogen Energy* 44 (16), 8585-8600.
- [71] Elmas, P. D. Ç. 2007. *Yapay Zeka Uygulamaları*. Ankara: Seçkin.
- [72] Ghorabae, K.M., Zavadskas, E.K., Amiri, M., Turskis, Z. 2016. Extended EDAS Method for Fuzzy Multi-criteria Decision-making: An Application to Supplier Selection. *International Journal of computers communications and Control*. 11(3), 358-371
- [73] Ghorabae, M.K., Zavadskas, E.K., Olfat L., Turskis, Z. 2015. Multi-criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451.
- [74] Ghorabae, K.M., Amiri, M., Zavadskas, E.K. ve Turskis, Z. 2017. Multi-Criteria Group Decision-Making Using an Extended EDAS Method with Interval Type-2 Fuzzy Sets. *Economics and Management*. 20, 48-68.
- [75] Stevic, Z., Vasiljevic, M., Zavadskas, E.K., Sremac, S. ve Turskis, Z. 2018. Selection of Carpenter Manufacturer Using Fuzzy EDAS Method. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*. 29(3), 281-290.
- [76] Zhang, S., Wei, G., Gao, H., Wei, C., & Wei, Y. 2019. EDAS method for multiple criteria group decision making with picture fuzzy information and its application to green suppliers selections. *Technological and Economic Development of Economy*. 25(6), 1123-1138.
- [77] Bayrakdaroğlu, F.K., Kundakçı, N. 2019. Bulanık EDAS yöntemi ile Ar-Ge projesi seçimi. *UİİİD-IJEAS*, 2019 (24), 151-170.
- [78] Stević, Ž., Vasiljević, M., Puška, A., Tanackov, I., Junevičius, R., & Vesković, S. 2019. Evaluation of Suppliers Under Uncertainty: a Multiphase Approach Based on Fuzzy AHP and Fuzzy EDAS. *Transport*, 34(1), 52-66.
- [79] Kahraman, C., Ghorabae, K.M., Zavadskas, E.K., Onar, S.C., Yazdani, M., Oztays, B., 2017. Intuitionistic Fuzzy EDAS Method: An Application to Solid Waste Disposal Site Selection. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 25(1), 1-12.
- [80] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Ghorabae, M. K. ve Turskis, Z. 2017. An Extension of The EDAS Method Based on the Use of Interval Grey Numbers. *Studies in Informatics and Control*, 26 (1), 5-12.
- [81] Chen, C.T. 2000. Extensions of the TOPSIS for Group Decision Making Under Fuzzy Environment. *Fuzzy sets and systems*. 114, 1-9.

Çok Değişkenli Normal Dağılımların Karmasına Dayalı Kümelemede TOPSIS Yöntemi ile Küme Sayısının Belirlenmesi

Serkan AKOĞUL¹ , Murat ERİŞOĞLU² , Ülkü ERİŞOĞLU³ 

*¹Pamukkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, DENİZLİ

²Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, KONYA

³Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, KONYA

(Alınış / Received: 06.03.2020, Kabul / Accepted: 19.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Bilgi Kriterleri,
Çok kriterli Karar Verme,
Modele Dayalı Kümeleme,
TOPSIS

Öz: Çok kriterli karar verme yöntemleri, birden fazla kriterin optimizasyonu ile mümkün çözüm kümeleri içerisinde alternatifin seçimi, sıralanması ve sınıflanmasını sağlar. Bu çalışmanın amacı, Çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ile modele dayalı kümeleme analizinde küme sayısını belirlemektir. Çalışmada, veri setleri aday küme sayılarına göre modele dayalı kümeleme ile modellenmiş ve elde edilen her bir kümeleme için Akaike bilgi kriteri, kanıtların yaklaşık ağırlık kriteri, Bayesci bilgi kriteri, sınıflandırma olasılırlık kriteri ve Kullback bilgi kriteri birer karar kriteri olarak hesaplanmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasın da simülasyon sonuçları kullanılmış olup TOPSIS ile veri seti için en uygun küme sayısı belirlenmiştir. Önerilen yaklaşımın başarısı gerçek ve sentetik veri setleri üzerinde test edilmiştir. Uygulama sonucunda uygun küme sayısının belirlenmesinde önerilen yaklaşım ilgili bilgi kriterlerine göre daha başarılı bir performans göstermiştir.

Determining the Number of Clusters with the TOPSIS Method in Clustering Based on the Multivariate Mixtures of Normal Distributions

Keywords

Information Criteria,
Multi Criteria Decision
Making,
Model Based Clustering,
TOPSIS

Abstract: Multiple criteria decision making methods provide the selection, ordering and classification of the alternative among the possible solution sets with the optimization of multiple criteria. The aim of this study is to determine the number of clusters in model-based cluster analysis with the TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), which is one of the multiple criteria decision making methods. In the study, the data sets were modeled with model-based clustering according to the number of candidate clusters, and for each cluster obtained, the Akaike information criterion, the approximate weight criterion of evidence, Bayesian information criterion, classification likelihood criterion and Kullback information criterion is calculated as a decision criterion. Simulation results were used in weighting the criteria and the most suitable number of clusters was determined with the TOPSIS. The success of the proposed approach was tested on the real and the synthetic datasets. As a result of the application, the proposed approach in determining the appropriate cluster number performed better than the relevant information criteria.

*İlgili Yazar, email: sakogul@pau.edu.tr

1. Giriş

Veri setindeki küme sayısının ve yapısının belirlenmesi kümeleme analizindeki en önemli problemlerden birisidir. Modele dayalı kümeleme, veri setini oluşturan kümelerin (bileşenlerin) her birinin tek ya da çok değişkenli dağılımlar ile modellenmesidir. Modele dayalı kümeleme analizi son zamanlarda kullanımı yaygınlaşmakta olup hem küme sayısı için yeni yöntemler önerilmekte hem de veri yapısının belirlenmesine ve verinin modellenmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle tıp, mühendislik, zooloji, su ürünleri, ekonomi ve psikoloji gibi çok sayıda uygulama alanına sahiptir [1].

Karma dağılım fikrini ilk ortaya atan Pearson [2] çalışmasında, birbirinden farklı ortalama ve varyansa sahip tek değişkenli iki bileşenli karma dağılım modelini incelemiştir. Karma dağılımı kümeleme analizinde ilk kullananlar ise Wolfe [3,4], Day [5] ve Binder [6] olmuştur. Dempster ve ark. [7] tarafından önerilen EM (Expectation–Maximization) algoritması, karma dağılım modelindeki parametre tahminlerinde kolaylık sağlamış olup literatürde sıkça karşımıza çıkmaktadır. Modele dayalı kümeleme analizinde, sonlu normal dağılımların karmasına dayalı kümeleme ise yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır [8-25]. Bu yaklaşım yaygın olarak kullanılmasına rağmen, veri setini yeterince temsil etmek için kaç tane bileşenin gerekli olduğu kararı, birçok araştırmacılara göre önemli bir sorundur ancak tatmin edici istatistiksel bir çözüm de mevcut değildir [26,27].

Modele dayalı kümelemede küme sayısını tahmin etmek için bilgi kriterleri yaygın olarak kullanılmıştır. Bu bilgi kriterleri bir veri setinin küme sayısı tahmininde farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, küme sayısı belirleme problemi çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınmıştır. Modele dayalı kümeleme sonucunda hesaplanan bilgi kriterleri ile bir karar matrisi oluşturulmuştur. Akogul ve Erisoğlu'nun [28] çalışmasındaki bilgi kriterlerinin gerçek ve simülasyon verilerine dayalı başarı karşılaştırması sonuçları kriterler için ağırlıklar olarak alınmıştır. Daha sonra ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS ile küme sayısı tahmininde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Modele dayalı kümeleme analizi

Modele dayalı kümeleme analizinde, veri setinin aynı ya da farklı dağılımlara sahip çeşitli alt kümelerden oluştuğu varsayılmaktadır. Tüm veri seti, bu dağılımların bir karması ile modellenir. p boyutlu n gözleme sahip bir rasgele örneklem $\mathbf{y} = (\mathbf{y}_1^T, \dots, \mathbf{y}_n^T)^T$ olmak üzere sonlu karma dağılım modelinin olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\Psi}) = \sum_{i=1}^g \pi_i \Phi_i(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\theta}_i) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir ($j = 1, \dots, n$ ve $i = 1, \dots, g$). Burada g modeldeki bileşen sayısı olmak üzere π_i , $0 < \pi_i < 1$ ve $\sum_{i=1}^g \pi_i = 1$ olan i 'inci bileşenin karma oranı ve $\Phi_i(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\theta}_i)$ de karma dağılımın i 'inci olasılık yoğunluk fonksiyonunu ifade eder. $\boldsymbol{\Psi} = (\pi_1, \dots, \pi_{g-1}, \boldsymbol{\xi}^T)^T$, karma modeldeki tüm bilinmeyen parametrelerin bir vektörü olup $\boldsymbol{\xi}$ de $\boldsymbol{\theta}_1, \boldsymbol{\theta}_2, \dots, \boldsymbol{\theta}_g$ bileşen olasılık yoğunluk fonksiyonlarının bilinmeyen parametrelerini içeren bir vektördür [12].

Çok boyutlu veri setlerinin kümelenmesinde bileşenlere ait olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak çok değişkenli normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$\Phi_i(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i) = (2\pi)^{-\frac{p}{2}} |\boldsymbol{\Sigma}_i|^{-\frac{1}{2}} e^{\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{y}_j - \boldsymbol{\mu}_i)^T \boldsymbol{\Sigma}_i^{-1} (\mathbf{y}_j - \boldsymbol{\mu}_i)\right\}} \quad (2)$$

yaygın olarak kullanılmaktadır. $\boldsymbol{\mu}_i$ i 'inci bileşene ait ortalama vektörü ve $\boldsymbol{\Sigma}_i$ i 'inci bileşene ait varyans-kovaryans matrisi olmak üzere $\boldsymbol{\Psi} = (\pi_1, \dots, \pi_{g-1}, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_g, \Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_g)^T$ karma modeldeki tüm bilinmeyen parametre vektörüdür. O halde $\boldsymbol{\Psi}$ vektörünün log-olabilirlik fonksiyonu

$$\log L(\boldsymbol{\Psi}) = \sum_{j=1}^n \log \left[\sum_{i=1}^g \pi_i \Phi_i(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i) \right] \quad (3)$$

şeklindedir. Gözlenen $\mathbf{y}_j$ 'nin karma modelin i 'inci bileşenine ait olma olasılığı

$$\tau_i(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\Psi}) = \pi_i \Phi_i(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i) / \sum_{m=1}^g \pi_m \Phi_m(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\mu}_m, \boldsymbol{\Sigma}_m) \quad (4)$$

olup $\boldsymbol{\Psi}$ parametresinin EM algoritmasıyla hesaplanan en çok olabilirlik tahminleri

$$\pi_i^{(k+1)} = \frac{\sum_{j=1}^n \tau_i(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\Psi}^{(k)})}{n} \quad (5)$$

$$\boldsymbol{\mu}_i^{(k+1)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \tau_i(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\Psi}^{(k)})} \sum_{j=1}^n \tau_i(\mathbf{y}_j; \boldsymbol{\Psi}^{(k)}) \mathbf{y}_j \quad (6)$$

$$\Sigma_i^{(k+1)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \tau_i(\mathbf{y}_j; \Psi^{(k)})} \sum_{j=1}^n \tau_i(\mathbf{y}_j; \Psi^{(k)}) (\mathbf{y}_j - \mu_i^{(k+1)}) (\mathbf{y}_j - \mu_i^{(k+1)})^T \quad (7)$$

iterasyonları ile elde edilir [12, 28].

Modele dayalı kümeleme analizinde en önemli problemlerden birisi uygun bileşen yani küme sayısının belirlenmesidir. Uygun küme sayısının belirlenmesinde ise genellikle log-olabilirlik fonksiyonunu temel alan bilgi kriterleri kullanılmaktadır. Bilgi kriterleri genel olarak

$$-2\log L(\hat{\Psi}) + C \quad (8)$$

şekilde ifade edilir. Burada C , ceza terimi olarak adlandırılır ve modeldeki serbest parametre sayısı (d) veya veri setindeki gözlem sayısına (n) bağlı olarak belirlenir. Eşitlik (8) verilen bilgi kriteri için i bileşen sayısını göstermek üzere $Bilgi\ Kriteri(i) \leq Bilgi\ Kriteri(i+1)$ koşulunu sağlayan ilk i sayısı, uygun küme sayısı (g) olarak seçilir [12, 28]. Bu çalışmada Akaike bilgi kriteri (AIC) [29], kanıtların yaklaşık ağırlık kriteri (AWE) [30], Bayesci bilgi kriteri (BIC) [31], sınıflandırma olabilirlik kriteri (CLC) [32] ve Kullback bilgi kriteri (KIC) [33] kullanılmıştır. Bu bilgi kriterleri

$$AIC = -2\log L(\hat{\Psi}) + 2d \quad (9)$$

$$AWE = -2\log L_c(\hat{\Psi}) + 2d(3/2 + \log(n)) \quad (10)$$

$$BIC = -2\log L(\hat{\Psi}) + d\log(n) \quad (11)$$

$$CLC = -2\log L(\hat{\Psi}) + 2EN(\hat{\tau}) \quad (12)$$

$$KIC = -2\log L(\hat{\Psi}) + 3(d+1) \quad (13)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Burada $EN(\tau) = -\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^n \tau_{ij} \log \tau_{ij}$ olup $\log L_c(\Psi) = \log L(\Psi) + EN(\tau)$ dir [28].

2.2. TOPSIS yöntemi

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemleri, birden fazla kriterin optimizasyonu ile mümkün çözüm kümeleri içerisinde en iyi alternatifin belirlendiği problemlerdir [34-37]. ÇKKV yöntemlerinden birisi olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Yoon ve Hwang [38] tarafından geliştirilmiştir. TOPSIS yönteminde, seçilen bir alternatifin kriterlere göre ideal çözüme yakın, ideal olmayan çözüme ise uzak olması amaçlanmaktadır. TOPSIS altı adımdan oluşan bir çözüm sürecini içerir ve sırası ile bu adımlar aşağıda verilmiştir [38-42]:

Adım 1. Karar matrisinin oluşturulması: $D = [d_{ij}]_{m \times k}$ karar matrisi, karar verici tarafından oluşturulan $m \times k$ boyutlu bir matristir. Matrisin sütunlarında karar vermede kullanılacak k adet değerlendirme kriterleri, satırlarında ise m adet alternatifin karar kriterlerine göre değerlendirmesi yer alır. Burada d_{ij} elemanı, i 'inci alternatifin ($i = 1, \dots, m$) j 'inci kriterine ($j = 1, \dots, k$) göre önem seviyesini belirtir.

Adım 2. Normalize matrisin elde edilmesi: $N = [n_{ij}]_{m \times k}$ normalize matrisin elemanları, D karar matrisi kullanılarak $n_{ij} = d_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m d_{ij}^2}$ şeklinde hesaplanır.

Adım 3. Ağırlıklandırılmış normalize matrisin elde edilmesi: Normalize edilmiş matrise ait her bir değer w_j gibi bir değerle ağırlıklandırılır. Ağırlıklandırma işlemi TOPSIS yönteminin tek sübjektif aşamasıdır. Burada $\sum_{j=1}^k w_j = 1$ olup N matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_j değeri ile çarpılarak ($v_{ij} = w_j n_{ij}$) ağırlıklandırılmış normalize matris $V = [v_{ij}]_{m \times k}$ elde edilir.

Adım 4. İdeal ve negatif ideal çözümlerin elde edilmesi: Problemin amacı doğrultusunda, ağırlıklandırılmış normalize matrisin (V) sütun değerleri göz önünde bulundurulur. Eğer amacımız minimizasyon ise sütuna ait minimum değerler ideal çözümleri (A^+), maksimum değerler ise negatif ideal çözümleri (A^-) oluşturur. Bu durumda $A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_k^+\}$ her bir sütuna ait minimum değerler ve $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_k^-\}$ her bir sütuna ait

maksimum değerler şeklinde belirlenir. Eğer amacımız maksimizasyon ise elde edilen değerler tam tersi olarak alınacaktır.

Adım 5. İdeal ve negatif ideal ayırım ölçülerinin hesaplanması: İdeal ve negatif ideal noktalara olan uzaklık değerleri hesaplanırken Öklid uzaklığı kullanılmaktadır. İdeal ayırım $S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (v_{ij} - v_j^+)^2}$ ve negatif ideal ayırım $S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (v_{ij} - v_j^-)^2}$ ölçüleri şeklinde hesaplanmaktadır. Burada hesaplanacak S_i^+ ve S_i^- ölçülerinin sayısı alternatiflerin sayısı kadar olacaktır.

Adım 6. İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması: Her alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^+) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılır. İdeal çözüme göreli yakınlık değeri $C_i^+ = S_i^- / (S_i^- + S_i^+)$ şeklinde hesaplanır. Burada C_i^+ değeri $0 \leq C_i^+ \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^+ = 1$ ise ilgili alternatifin ideal çözüme, $C_i^+ = 0$ ise ilgili alternatifin negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

2.3. Modele dayalı kümeleme analizinde küme sayısının belirlenmesi için yeni bir yaklaşım

Modele dayalı kümeleme analizinde veri setinin küme sayısının belirlenmesinde bilgi kriterleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürdeki yaygın olarak kullanılan kriterlerden bazıları AIC, AWE, BIC, CLC, KIC vb. Bu bilgi kriterleri, aynı veri setinin küme sayısını farklı tahmin edebilmektedirler. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için, modele dayalı kümelemede bir veri setinin küme sayısının belirlenmesi problemi bir ÇKKV problemi olarak ele alınmış ve TOPSIS yönteminden yararlanılarak yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Şekil 1’de önerilen yaklaşım açıklanmıştır. Amaç; küme sayısının belirlenmesi, kriterler; AIC, AWE, BIC, CLC ve KIC bilgi kriterleri, alternatifler ise küme sayısı alınarak model oluşturulmuştur. Önerilen yaklaşım küme sayısı bilinen gerçek ve sentetik veri setleri üzerinde test edilmiş ve bu beş bilgi kriterlerinden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 1. Küme sayısının belirlenmesi için önerilen yaklaşım

Önerilen yaklaşım aşağıdaki adımlarda özetlenmiştir:

Adım 1. Problemin tanımı: Problemimiz bir veri setinin küme sayısının belirlenmesidir. Problemi çözmek için ele alınan kriterler, küme sayısı tahmininde kullanılan bilgi kriterlerinden AIC, AWE, BIC, CLC ve KIC’den oluşmaktadır. Kriterlerin ağırlık vektörünü oluşturmak için Akogul ve Erisoglu’nun[28] çalışmasının bir sonucu olan kriterlerin küme sayısı tahmini ortalama başarıları kullanılmıştır. Böylece AIC, AWE, BIC, CLC ve KIC kriterlerine ait sırasıyla 43.6, 21.2, 47.4, 17.3 ve 58.2 olan ortalama başarıları $W = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = \{0.2323, 0.1129, 0.2525, 0.0922, 0.3101\}$ şeklinde ağırlıklara dönüştürülmüştür. Veri setinin küme sayısı alternatifleri ise 2, 3, 4 ve 5 olarak seçilmiştir. Alternatiflerin değerleri bilgi kriterlerinin en düşük ve en yüksek tahmin değerleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Benzer şekilde alternatif sayısı arttırılabilir.

Adım 2. Modele dayalı kümeleme: Veri seti, modele dayalı kümeleme ile farklı küme sayılarına göre çok değişkenli normal dağılımlarının karması ile modellenmiştir. Model parametrelerinin en çok olabilirlik tahminleri EM algoritması ile elde edilmiştir.

Adım 3. Bilgi kriterleri: Tahmin edilen parametrelere göre log-olabilirlik fonksiyonları hesaplanmış ve her bir küme sayısı için bilgi kriterleri değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak bir karar matrisi oluşturulmuştur.

Adım 4. TOPSIS yöntemi: Oluşturulan karar matrisi kullanılarak problemimiz bir ÇKKV problemine dönüştürülmüştür. Böylece TOPSIS yöntemi kullanılarak her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı hesaplanmıştır.

Adım 5. Küme sayısı tahmini: Son adım olarak da TOPSIS ile en uygun alternatif yani küme sayısı belirlenmiştir. Problemin amacı doğrultusunda ideal ve negatif ideal çözümler oluşturur. Bilgi kriterleri için minimum değeri veren model en iyi model olarak seçileceğinden amacımız minimizasyondur. Bu doğrultuda en yüksek ideal çözüme göreli yakınlığa sahip alternatif uygun küme sayısı olarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

Önerilen yaklaşım, Tablo 1’de verilen farklı örneklem büyüklükleri (n), farklı değişken sayıları (p) ve farklı küme sayılarına (g) sahip gerçek ve sentetik veri setleri üzerinde test edilmiştir.

Tablo 1. İncelenen veri setlerinin örneklem büyüklükleri, değişken sayıları ve küme sayıları

Veri Setleri	Örneklem Büyüklüğü (n)	Değişken Sayısı (p)	Küme Sayısı (g)
Crab	200	5	2
Liver Disorders	345	6	2
Ionosphere	351	34	2
Chemical Diabetes	145	4	3
Iris	150	4	3
Wine	178	13	3
Ruspini	75	2	4
E.coli	336	7	4
Vehicle Silhouettes	846	18	4
Sentetik-1	1000	2	2
Sentetik-2	1000	2	3
Sentetik-3	1000	2	4

Gerçek veri setleri UCI Machine Learning Repository [43] web sitesinden alınmıştır. Sentetik veri setleri ise Tablo 2’de verilen karma oranlar, ortalama vektörlere ve kovaryans matrislere göre normal dağılımların karmasından üretilmiştir.

Tablo 2. Sentetik veri setlerinin karma oranları, ortalama vektörleri ve kovaryans matrisleri

	Karma Oranlar	Ortalama vektörleri	Kovaryans matrisleri
Sentetik-1	$\pi_1 = 1/2$	$\mu_1 = [2, 4]^T$	$\Sigma_1 = [1, 0; 0, 1]$
	$\pi_2 = 1/2$	$\mu_2 = [5, 6]^T$	$\Sigma_2 = [2, 0; 0, 0.5]$
	$\pi_1 = 1/3$	$\mu_1 = [-1, 2]^T$	$\Sigma_1 = [1, 0; 0, 1]$
Sentetik-2	$\pi_2 = 1/3$	$\mu_2 = [1, 1]^T$	$\Sigma_2 = [0.5, -0.7; -0.7, 1.5]$
	$\pi_3 = 1/3$	$\mu_3 = [0, -4]^T$	$\Sigma_3 = [2, 0; 0, 2]$
	$\pi_1 = 1/4$	$\mu_1 = [-2, -2]^T$	$\Sigma_1 = [0.2, 0; 0, 0.2]$
Sentetik-3	$\pi_2 = 1/4$	$\mu_2 = [-2, -2]^T$	$\Sigma_2 = [3, 2; 2, 7]$
	$\pi_3 = 1/4$	$\mu_3 = [3, 1]^T$	$\Sigma_3 = [1, 0; 0, 4]$
	$\pi_4 = 1/4$	$\mu_4 = [1, -3]^T$	$\Sigma_4 = [1, 0; 0, 1]$

Çalışmada Crab veri seti için önerilen yöntem detaylı olarak açıklanıp hesaplamalar verilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Diğer veri setleri için karar matrisi, ideal ve negatif ideal ayırımlar ile ideal çözüme göreli yakınlık değerleri verilmiştir. Karar matrisleri kullanılarak hesaplamalar benzer şekilde yapılabilir. Crab veri setinin alternatif küme sayılarına göre modele dayalı kümeleme analizi sonucu hesaplanan bilgi kriterlerinin değerlerinden oluşan karar matrisi Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Crab veri seti için karar matrisi

Alternatifler	AIC	AWE	BIC	CLC	KIC
2	2929.3	3474.2	3064.5	2916.8	2973.3
3	2920.6	3690.3	3125.1	2847.3	2985.6
4	2888.0	3915.7	3161.8	2787.2	2974.0
5	2816.7	4065.9	3159.7	2651.8	2923.7

Tablo 3’e göre 2 kümeye sahip Crab veri seti için AIC, AWE, BIC, CLC ve KIC bilgi kriterlerinin küme sayısı tahminleri sırasıyla 5, 2, 2, 5 ve 5 olduğu görülmektedir. Karar matrisi yardımıyla elde edilen normalize edilmiş matris Tablo 4’deki gibi hesaplanır.

Tablo 4. Crab veri seti için normalize edilmiş matris

Alternatifler	AIC	AWE	BIC	CLC	KIC
2	0.5070	0.4580	0.4898	0.5204	0.5015
3	0.5055	0.4864	0.4995	0.5080	0.5036
4	0.4998	0.5162	0.5054	0.4973	0.5016
5	0.4875	0.5359	0.5051	0.4731	0.4932

Normalize edilmiş matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili ağırlık vektörü $W = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = \{0.2323, 0.1129, 0.2525, 0.0922, 0.3101\}$ ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris Tablo 5’deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 5. Crab veri seti için ağırlıklandırılmış normalize matris

Alternatifler	AIC	AWE	BIC	CLC	KIC
2	0.1178	0.0517	0.1237	0.0480	0.1555
3	0.1174	0.0549	0.1261	0.0468	0.1562
4	0.1161	0.0583	0.1276	0.0458	0.1555
5	0.1132	0.0605	0.1275	0.0436	0.1529

Amacımız minimizasyon olup ağırlıklandırılmış normalize matrisin her bir sütuna ait minimum değerler ideal çözümleri $A^+ = \{0.1132, 0.0517, 0.1237, 0.0436, 0.1529\}$, maksimum değerler ise negatif ideal çözümleri $A^- = \{0.1178, 0.0605, 0.1276, 0.0480, 0.1562\}$ oluşturur. İdeal ayırım $S^+ = \{0.0068, 0.0074, 0.0089, 0.0096\}$ ve negatif ideal ayırım $S^- = \{0.0097, 0.0059, 0.0036, 0.0071\}$ ölçüleri şeklinde hesaplanmaktadır. Her alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı $C^+ = \{0.5871, 0.4442, 0.2863, 0.4238\}$ olup en yüksek C_i^+ değerine (0.5871) sahip olan 2, alternatifler içerisinde en uygun küme sayısı olarak belirlenmiştir. Böylece 2 kümeye sahip Crab veri setinin küme sayısı önerilen yöntem ile doğru olarak tespit edilmiştir. Tüm veri setleri için hesaplanan karar metrisleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Her bir veri setinin karar matrisleri

Veri Setleri	Alternatifler	AIC	AWE	BIC	CLC	KIC
Liver Disorders	2	14752.4	15503.7	14963.8	14695.9	14810.4
	3	14693.7	15865.2	15012.8	14646.2	14779.7
	4	14605.7	16176.3	15032.4	14546.0	14719.7
	5	14643.7	16582.9	15177.9	14541.4	14785.7
Ionosphere	2	12260.8	28277.6	17121.6	9743.1	13522.8
	3	13487.6	37518.7	20780.7	9709.7	15379.6
	4	12065.5	44111.7	21790.9	7028.0	14587.5
	5	14236.6	54296.8	26394.2	7938.6	17388.6
Chemical Diabetes	2	6332.5	6663.0	6418.9	6287.3	6364.5
	3	6241.7	6744.5	6372.7	6174.6	6288.7
	4	6234.9	6924.2	6410.5	6160.0	6296.9
	5	6223.3	7065.4	6443.5	6106.8	6300.3
Iris	2	487.1	806.7	574.4	429.1	519.1
	3	449.1	944.1	581.6	371.2	496.1
	4	448.9	1126.5	626.5	358.3	510.9
	5	474.1	1378.8	696.9	415.2	551.1
Wine	2	5222.3	7597.3	5887.3	4804.3	5434.3
	3	4802.5	8382.5	5801.6	4186.3	5119.5
	4	4753.3	9517.9	6086.5	3918.5	5175.3
	5	4841.1	10797.3	6508.4	3794.8	5368.1
Ruspini	2	1409.2	1515.2	1434.7	1387.2	1423.2
	3	1369.9	1534.0	1409.3	1336.3	1389.9
	4	1329.9	1552.3	1383.2	1284.7	1355.9
	5	1322.5	1602.2	1389.7	1264.8	1354.5
E.coli	2	3377.5	4283.3	3648.6	3244.3	3451.5
	3	569.3	1929.7	977.7	363.9	679.3
	4	465.2	2279.0	1011.0	186.3	611.2
	5	514.4	2786.0	1197.7	166.5	696.4
Vehicle Silhouettes	2	80747.8	86249.1	82544.5	80002.8	81129.8
	3	78171.5	86431.4	80868.8	77053.7	78743.5
	4	76987.3	88003.1	80585.3	75493.9	77749.3
	5	77496.4	91282.8	81995.2	75642.2	78448.4
Sentetik-1	2	6849.0	7286.0	6903.0	7101.0	6863.0
	3	6846.5	7971.4	6929.9	7685.5	6866.5
	4	6862.9	8416.3	6975.8	8029.6	6888.9
	5	6860.6	8945.2	7002.9	8457.6	6892.6
Sentetik-2	2	5233.9	5634.1	5284.0	5457.0	5247.9
	3	5110.2	5711.6	5187.6	5437.9	5130.2
	4	5101.0	5945.1	5205.7	5574.8	5127.0
	5	5126.2	6478.0	5258.2	6011.1	5158.2
Sentetik-3	2	8298.5	8727.6	8352.4	8542.6	8312.5
	3	8268.1	9055.1	8351.5	8769.2	8288.1
	4	8082.1	8994.7	8195.0	8608.0	8108.1
	5	8084.3	9315.3	8226.6	8827.6	8116.3

Bilgi kriterleri için minimum değer en uygun kümesayısı olduğu için burada amacımız minimizasyondur. O halde ağırlıklandırılmış normalize matrisin her bir sütuna ait minimum değerler ideal çözümleri (A^+), maksimum değerler ise negatif ideal çözümleri (A^-) oluşturur. İdeal ve negatif ideal çözümleri kullanarak elde edilen ideal ayırım (S_i^+) ve negatif ideal ayırım (S_i^-) ölçüleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Veri setlerinin her bir alternatife göre ideal ayırım ve negatif ideal ayırım değerleri

Veri Setleri	İdeal ayırım (S_i^+)				Negatif ideal ayırım (S_i^-)			
	2	3	4	5	2	3	4	5
L. Disorders	0.0016	0.0017	0.0024	0.0043	0.0042	0.0029	0.0025	0.0010
Ionosphere	0.0145	0.0363	0.0361	0.0777	0.0772	0.0450	0.0478	0.0096
C. Diabetes	0.0032	0.0009	0.0023	0.0036	0.0034	0.0040	0.0030	0.0029
Iris	0.0144	0.0075	0.0202	0.0431	0.0399	0.0383	0.0261	0.0036
Wine	0.0183	0.0066	0.0134	0.0258	0.0236	0.0258	0.0204	0.0144
Ruspini	0.0124	0.0067	0.0017	0.0032	0.0032	0.0063	0.0119	0.0122
E.coli	0.3644	0.0106	0.0070	0.0227	0.0000	0.3556	0.3626	0.3501
V.Silhouettes	0.0096	0.0028	0.0011	0.0042	0.0032	0.0075	0.0098	0.0076
Sentetik-1	0.0000	0.0059	0.0096	0.0141	0.0141	0.0082	0.0045	0.0000
Sentetik-2	0.0053	0.0008	0.0032	0.0095	0.0092	0.0100	0.0080	0.0037
Sentetik-3	0.0094	0.0024	0.0017	0.0030	0.0023	0.0076	0.0094	0.0089

Her veri seti için hesaplanan ideal ayırım ve negatif ideal ayırım ölçüleri kullanılarak elde edilen her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı C_i^+ , Tablo 8’de verilmiştir. En büyük C_i^+ değerine sahip olan i ’inci alternatif kalın olarak yazılmış olup uygun küme sayısı olarak seçilmektedir.

Tablo 8. Veri setlerinin her bir alternatife göre ideal çözüme göreli yakınlık değerleri

Veri Seti	Alternatifler			
	2	3	4	5
L. Disorders	0.7270	0.6382	0.5017	0.1932
Ionosphere	0.8417	0.5532	0.5702	0.1097
C. Diabetes	0.5120	0.8148	0.5587	0.4455
Iris	0.7354	0.8370	0.5637	0.0776
Wine	0.5631	0.7970	0.6029	0.3591
Ruspini	0.2031	0.4861	0.8778	0.7915
E.coli	0.0000	0.9710	0.9811	0.9391
V. Silhouettes	0.2524	0.7263	0.8970	0.6452
Sentetik-1	0.9969	0.5842	0.3165	0.0028
Sentetik-2	0.6366	0.9287	0.7152	0.2792
Sentetik-3	0.1991	0.7597	0.8494	0.7482

Tablo 9’da tüm veri setlerinin bilgi kriterleri ve önerilen yaklaşımla belirlenen küme sayısı tahminleri verilmiştir. En alt satırda da, yaklaşımların doğru belirledikleri küme sayısı toplamaları belirtilmiştir. Tablo 9’da önerilen yaklaşımın üstünlüğü görülmektedir. Böylece modele dayalı kümelemede önerilen bu yeni yaklaşım literatürde var olan ilgili beş bilgi kriterinden daha üstün bir performans sergilemiştir.

Tablo 9. Bilgi kriterleri ve önerilen yaklaşımın karşılaştırılması

Veri Seti	Küme Sayısı	AIC	AWE	BIC	CLC	KIC	Önerilen Yaklaşım
Crab	2	5	2	2	5	5	2
L. Disorders	2	4	2	2	5	4	2
Ionosphere	2	4	2	2	4	2	2
C. Diabetes	3	5	2	3	5	3	3
Iris	3	4	2	2	4	3	3
Wine	3	4	2	3	5	3	3
Ruspini	4	5	2	4	5	5	4
E.coli	4	4	3	3	5	4	4
V. Silhouettes	4	4	2	4	4	4	4
Sentetik-1	2	3	2	2	2	2	2
Sentetik-2	3	4	2	3	3	4	3
Sentetik-3	4	4	2	4	2	4	4
Toplam Doğru Sayısı		3	4	10	3	8	12

4. Tartışma ve Sonuç

Kümeleme analizinde küme sayısı tahmini için literatürde birçok yaklaşım önerilmiştir. Modele dayalı kümeleme analizinde yaygın olarak bilgi kriterleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, veri setleri modele dayalı kümeleme ile modellenmiş ve yaygın kullanılan AIC, AWE, BIC, CLC ve KIC bilgi kriterleri birer karar kriteri olarak alınmıştır. Böylece küme sayısı belirleme problemini çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ile çözülmesi amaçlanmıştır. Bu sayede çok değişkenli normal dağılımların karmasına dayalı kümelemede bir veri setinin küme sayısının belirlenmesi için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın bu beş ilgili bilgi kriterlerinden daha doğru sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Bu çalışma ile veri setinin küme sayısı belirleme problemi bir ÇKKV problemine dönüştürülmüş ve bazı bilgi kriterlerinin ortak kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir. Daha sonraki çalışmalar için araştırmacılar bu yöntemi, farklı kriterler ve ağırlık matrisleri belirleyerek hem modele dayalı kümelemede hem de diğer kümeleme yöntemlerinde kolaylıkla uygulayabilirler.

Kaynakça

- [1] Titterington, D.M., Smith, A. F., Makov, U. E. 1985. Statistical analysis of finite mixture distributions, Wiley.
- [2] Pearson, K. 1894. Contributions to the mathematical theory of evolution, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A, 185, 71-110.
- [3] Wolfe, J. H. 1965. A computer program for the maximum likelihood analysis of types, Naval Personnel Research Activity San Diego Calif.
- [4] Wolfe, J. H. 1967. NORMIX: Computational methods for estimating the parameters of multivariate normal mixtures of distributions, Naval Personnel Research.
- [5] Day, N. E. 1969. Estimating the components of a mixture of normal distributions, Biometrika, 56 (3), 463-474.
- [6] Binder, D. A. 1978. Bayesian cluster analysis, Biometrika, 65 (1), 31-38.
- [7] Dempster, A. P., Laird, N. M., Rubin, D. B. 1977. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm, Journal of the royal statistical society. Series B (methodological), 1-38.
- [8] Celeux, G., Govaert, G. 1993. Comparison of the mixture and the classification maximum likelihood in cluster analysis, Journal of Statistical Computation and simulation, 47 (3-4), 127-146.
- [9] Celeux, G., Govaert, G. 1995. Gaussian parsimonious clustering models, Pattern recognition, 28 (5), 781-793.
- [10] Fraley, C., Raftery, A. E. 2002. Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation, Journal of the American statistical Association, 97 (458), 611-631.
- [11] Biernacki, C., Celeux, G., Govaert, G. 2003. Choosing starting values for the EM algorithm for getting the highest likelihood in multivariate Gaussian mixture models. Computational Statistics & Data Analysis, 41(3-4), 561-575.
- [12] McLachlan, G., Peel, D. 2004. Finite mixture models, John Wiley & Sons.
- [13] Pernkopf, F., Bouchaffra, D. (2005). Genetic-based EM algorithm for learning Gaussian mixture models. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27(8), 1344-1348.
- [14] Raftery, A. E., Dean, N. 2006. Variable selection for model-based clustering. Journal of the American Statistical Association, 101(473), 168-178.
- [15] Browne, R. P., McNicholas, P. D. 2012. Model-based clustering, classification, and discriminant analysis of data with mixed type. Journal of Statistical Planning and Inference, 142(11), 2976-2984.
- [16] Yang, M. S., Lai, C. Y., Lin, C. Y. 2012. A robust EM clustering algorithm for Gaussian mixture models. Pattern Recognition, 45(11), 3950-3961.
- [17] Lee, S. X., McLachlan, G. J. 2013. Model-based clustering and classification with non-normal mixture distributions. Statistical Methods & Applications, 22(4), 427-454.
- [18] Kwedlo, W. 2015. A new random approach for initialization of the multiple restart EM algorithm for Gaussian model-based clustering. Pattern Analysis and Applications, 18(4), 757-770.
- [19] Malsiner-Walli, G., Frühwirth-Schnatter, S., Grün, B. 2016. Model-based clustering based on sparse finite Gaussian mixtures. Statistics and computing, 26(1-2), 303-324.

- [20] Marbac, M., Biernacki, C., Vandewalle, V. 2017. Model-based clustering of Gaussian copulas for mixed data. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 46(23), 11635-11656.
- [21] Fop, M., Murphy, T. B. 2018. Variable selection methods for model-based clustering. *Statistics Surveys*, 12, 18-65.
- [22] Scrucca, L., Raftery, A. E. 2018. clustvarsel: a package implementing variable selection for Gaussian model-based clustering in R. *Journal of Statistical Software*, 84.
- [23] Celeux, G., Maugis-Rabusseau, C., Sedki, M. 2019. Variable selection in model-based clustering and discriminant analysis with a regularization approach. *Advances in Data Analysis and Classification*, 13(1), 259-278.
- [24] Wei, Y., Tang, Y., McNicholas, P. D. 2019. Mixtures of generalized hyperbolic distributions and mixtures of skew-t distributions for model-based clustering with incomplete data. *Computational Statistics & Data Analysis*, 130, 18-41.
- [25] Gögebakan, M., Servi, T. 2019. Genetik Algoritma Kullanılarak Verilerin Karma Normal Modele Dayalı Kümelmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 35(3), 12-23.
- [26] Bozdoğan, H. 1994. Mixture-model cluster analysis using model selection criteria and a new informational measure of complexity, *Proceedings of the first US/Japan conference on the frontiers of statistical modeling: An informational approach*, 69-113.
- [27] Oliveira-Brochado, A., Martins, F. V. 2005. Assessing the number of components in mixture models: a review, *Universidade do Porto, Faculdade de Economia do Porto*.
- [28] Akogul, S., Erisoglu, M. 2016. A comparison of information criteria in clustering based on mixture of multivariate normal distributions. *Mathematical and Computational Applications*, 21(3), 34.
- [29] Akaike, H. 1998. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In *Selected papers of hirotugu akaike* (pp. 199-213). Springer, New York, NY.
- [30] Banfield, J. D., Raftery, A. E. 1993. Model-based Gaussian and non-Gaussian clustering. *Biometrics*, 803-821.
- [31] Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6(2), 461-464.
- [32] Biernacki, C., Govaert, G. 1997. Using the classification likelihood to choose the number of clusters. *Computing Science and Statistics*, 451-457.
- [33] Cavanaugh, J. E. 1999. A large-sample model selection criterion based on Kullback's symmetric divergence. *Statistics & Probability Letters*, 42(4), 333-343.
- [34] Yıldırım, B. F., Önder, E., Turan, G. 2015. Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. *Dora Yayıncılık*, 2, 15.
- [35] Akogul, S., Erisoglu, M. 2017. An approach for determining the number of clusters in a model-based cluster analysis. *Entropy*, 19(9), 452.
- [36] Özdemir, B., Özcan, B., Aladağ, Z. 2017. Güneş enerjisi santrali kuruluş yerinin AHS ve VIKOR yöntemlerine dayalı bütünleşik yaklaşım ile değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 33(2), 16-34.
- [37] Zararlı, F., Yazgan, H. R., Delice, Y. 2018. AHP ve VIKOR Bütünleşik yaklaşımıyla Lojistik Merkez Yer Seçimi: Kayseri ili örneği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 34(3), 1-9.
- [38] Hwang, C. L., Yoon, K. 1981. Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [39] Lai, Y.-J., Liu, T.-Y., Hwang, C.-L. 1994. Topsis for MODM, *European journal of operational research*, 76 (3), 486-500.
- [40] Wang, T. C., Lee, H. D. 2009. Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert systems with applications*, 36(5), 8980-8985.
- [41] Ishizaka, A., Nemery, P. 2013. *Multi-criteria decision analysis: methods and software*, John Wiley & Sons, p.
- [42] Akman, G., Özcan, B., Başlı, H., Gündüz, E. B. 2018. Çok Kriterli Karar Vermede AHP ve TOPSIS Yöntemleriyle Uçuş Noktası Seçimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 34(3), 45-57.
- [43] Lichman, M. 2013. *UCI Machine Learning Repository*, University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences, <http://archive.ics.uci.edu/ml/> (Erişim Tarihi: 06.06.2016).

A Closed Formula of Hausdorff Series in a Semigroup Ring

Osman KELEKÇİ 

*₁Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, NİĞDE

(Alınış / Received: 17.10.2020, Kabul / Accepted: 16.12.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Keywords

Hausdorff series,
Right zero semigroup,
Semigroup ring

Abstract: Let K be a field of characteristic zero, u and v be algebraically independent variables and $K\langle u, v \rangle$ be the free associative noncommutative algebra of rank 2 over K . Each element in $K\langle u, v \rangle$ can be written as a noncommutative polynomial of u and v . The expression of the polynomial $w = w(u, v) = \log(e^u e^v)$ is a formal power series and a solution to this equation for w is given by the Hausdorff series expressed as nested commutators of u and v . However this series is not in its closed form in $K\langle u, v \rangle$. Obtaining a closed form of this series, one may consider another algebraic structure other than $K\langle u, v \rangle$ and evolve the series in it. We consider the right zero semigroup with finite elements, and the semigroup ring A spanned on this semigroup over the field of real numbers. In this paper, we provide a closed form of this formula in the semigroup ring A .

Yarıgrup Halkasında Hausdorff Serisinin Kapalı bir Formülü

Anahtar Kelimeler

Hausdorff serisi,
Sağ sıfır yarıgrup,
Yarıgrup halkası

Öz: K karakteristiği sıfır olan bir cisim, u ve v cebirsel bağımsız değişkenler ve $K\langle u, v \rangle$, K üzerinde rankı 2 olan serbest birleşmeli değişmeli olmayan bir cebir olsun. $K\langle u, v \rangle$ 'deki her eleman, u ve v 'nin değişmeli olmayan bir polinomu olarak yazılabilir. $w = w(u, v) = \log(e^u e^v)$ polinomunun açılımı düzgün bir kuvvet serisidir ve bu denklemin w için çözümü u ve v 'nin iç içe geçen komütatörleri olarak ifade edilebilen Hausdorff serisi tarafından verilir. Ancak bu seri $K\langle u, v \rangle$ 'de kapalı formda değildir. Bu serinin kapalı bir formunu elde ederken, $K\langle u, v \rangle$ 'den başka cebirsel yapılar düşünülebilir ve bu cebirsel yapılar içinde, seri geliştirilebilir. Sonlu elemanlı sağ sıfır yarıgubunu ve reel sayılar cismi üzerinde bu yarıgrup tarafından gerilen A yarıgrup halkasını ele alalım. Bu çalışmada, A yarıgrup halkasında bu formülün kapalı bir formu verilmiştir.

*İlgili Yazar, email: okelekci@ohu.edu.tr

1. Introduction

The Campbell-Baker-Hausdorff (CBH) series is of fundamental importance in the theory of Lie groups, their applications, physics, and physical chemistry. The CBH formula is a general result for the quantity $w = w(u, v) = \log(e^u e^v)$, where u and v are not necessarily commuting. Standard methods for the explicit construction of the CBH terms yield polynomial representations, which must be translated into the usually required commutator representation.

Evolutions of the Hausdorff series in various algebras and rings has been considered in obtaining a closed form of this formula after Campbell [1, 2], Baker [3] and Hausdorff [4] published their works on CBH formula. The infinite series for $\log(e^u e^v)$ for noncommuting u and v is expressible in terms of iterated commutators of u and v except for the linear term $u + v$. Finally, Dynkin [5] derived an explicit expression for the terms as a sum of iterated commutators over a certain set of sequences.

$$w(u, v) = u + v + \frac{1}{2}[u, v] + \frac{1}{12}[u, [u, v]] + \frac{1}{12}[v, [v, u]] - \frac{1}{24}[u, [v, [u, v]]] \dots$$

Although the expression is known in the recursive form, it has been studied to simplify the formula in order to express the CBH formula in a closed form. For the free metabelian Lie algebra, Gerritzen [6] and Kurlin [7]

suggested a closed formula in their works, which was used by Drensky and Findik [8] in their work for describing the multiplication rule in the inner automorphism group of the free metabelian Lie algebra. Baker [9] computed the coefficients according to a fixed basis set. Recently, Findik and the author [10] studied the CBH formula in semigroup rings spanned on right and right zero semigroups.

A semigroup S is said to be a right zero semigroup if $s_1 s_2 = s_2$ for each $s_1, s_2 \in S$. For unexplained terms in semigroup theory see [11]. Now let $\mathbb{R}$ be the field of real numbers, $RZ_n = \{a_1, \dots, a_n\}$ be a right zero semigroup, and A be the semigroup ring spanned on RZ_n together with 1 over the base field $\mathbb{R}$. In the present paper, we suggest a closed formula for coefficients of $w = \log(e^u e^v)$, with respect to the ordered basis $\{1, a_1, a_2, \dots, a_n\}$ in this semigroup.

2. Material and Method

Let $u, v, w \in A$ such that $e^w = e^u e^v$, where $u = x_0 + x_1 a_1 + \dots + x_n a_n$, $v = y_0 + y_1 a_1 + \dots + y_n a_n$ and $w = z_0 + z_1 a_1 + \dots + z_n a_n$. If $x = x_1 + \dots + x_n$, $y = y_1 + \dots + y_n$ and $z = z_1 + \dots + z_n$. Then by Theorem 2.3 in [10], we see that the followings hold.

$$z_0 = x_0 + y_0, z = x + y,$$

$$z_j = \frac{x + y}{e^{x+y} - 1} \left(\frac{e^x - 1}{x} x_j + \frac{e^y (e^x - 1)}{y} y_j \right)$$

where $j = 1, \dots, n$. Let $\bar{u} = u - x_0$ and $\bar{v} = v - y_0$. Then we have also the followings.

$$uv = x_0 v + y_0 u + x \bar{v}$$

$$vu = y_0 u + x_0 v + y \bar{u}$$

$$[u, v] = uv - vu = x \bar{v} - y \bar{u}.$$

3. Results

Initially we state the next technical lemma which provides the operations on commutators.

Lemma 3.1. There exists a commutative polynomial $f(x, y) \in \mathbb{R}[x, y]$ such that $w = u + v + [u, v]f(x, y)$.

Proof. We start by showing that $[u, [u, v]] = x[u, v]$ and $[v, [u, v]] = y[u, v]$. Because x_0 is in the center of the ring A , and the fact that $[\bar{u}, \bar{u}] = 0$, we have that

$$[u, [u, v]] = \text{adu}[u, v] = [x_0 + \bar{u}, x \bar{v} - y \bar{u}] = [\bar{u}, x \bar{v} - y \bar{u}] = [\bar{u}, x \bar{v}] = x[\bar{u}, \bar{v}] = x[u, v]$$

and that similarly $[v, [u, v]] = y[u, v]$. It is direct consequence from the computation above that

$$(\text{adu})^a (\text{adv})^b [u, v] = x^a y^b (x \bar{v} - y \bar{u}) = x^a y^b [u, v], a, b \geq 0$$

and hence by Dynkin [5] formula,

$$w = u + v + f(\text{adu}, \text{adv})[u, v] = u + v + f(x, y)[u, v]$$

for some function f . ■

Theorem 3.2. Let $u, v \in A$. Then

$$\log(e^u e^v) = u + v + \frac{x e^x (e^y - 1) - y (e^x - 1)}{x y (e^{x+y} - 1)} [u, v]$$

Proof. We know from Lemma 3.1. that

$$\log(e^u e^v) = w(u, v) = u + v + f(x, y)[u, v]$$

which gives that

$$z_0 + z_1 a_1 + \cdots + z_n a_n = (x_0 + x_1 a_1 + \cdots + x_n a_n) + (y_0 + y_1 a_1 + \cdots + y_n a_n) + f(x, y)(x\bar{v} - y\bar{u}).$$

Now by Theorem 2.3 in [10], compairing the coefficients of a_1 from both side,

$$z_1 = \frac{x+y}{e^{x+y}-1} \left(\frac{e^x-1}{x} x_1 + \frac{e^x(e^y-1)}{y} y_1 \right) = x_1 + y_1 + f(x, y)(xy_1 - yx_1)$$

Now comparing coefficients of algebraically independent variables x_1 and y_1 , respectively, we have that

$$\frac{x+y}{e^{x+y}-1} \frac{e^x-1}{x} = 1 - yf(x, y)$$

$$\frac{x+y}{e^{x+y}-1} \frac{e^x(e^y-1)}{y} = 1 + xf(x, y)$$

which leads to obtain the desired form of the formula for f by simple computations. ■

4. Discussion and Conclusion

Let S be a right zero semigroup and $\mathbb{R}\langle S \rangle$ be the semigroup ring with basis $S \cup \{1\}$. Consider the equation $w = \log(e^u e^v)$ where $u, v \in \mathbb{R}\langle S \rangle$. Clearly, $w = u + v$ when S is commutative. However it is not easy to compute w in the case of noncommutativity. In the present paper, we suggest a closed formula of Hausdorff series in the semigroup ring $\mathbb{R}\langle S \rangle$ and show that in the Dynkin formula, all elements excluding the first two terms are a polynomial of x and y , as $f(x, y)$. It would be interesting to held the problem for some other noncommutative semigroups.

References

- [1] Campbell, J.E. 1897. On a law of combination of operators bearing on the theory of continuous transformation groups. Proc. London Math. Soc., 28(1897), 381-390.
- [2] Campbell, J.E. 1897. On a law of combination of operators (second paper). Proc. London Math. Soc., 29(1897), 14-32.
- [3] Baker, H. F. 1905. Alternants and continuous groups. Proc. London Math. Soc. II, 3(1905), 24-47.
- [4] Hausdorff, F. 1906. Die symbolische Exponential Formel in der Gruppentheorie. Berichte über die Verhandlungen Sachsichen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, 58(1906), 19-48.
- [5] Dynkin, E.B. 1947. Evaluation of the coefficients of the Campbell-Hausdorff formula. Dokl. Akad. Nauk. SSSR., 57(1947), 323-326.
- [6] Gerritzen, L. 2003. Taylor expansion of noncommutative power series with an application to the Hausdorff series. J. Reine Angew. Math., 556(2003), 113-125.
- [7] Kurlin, V. 2007. The Baker-Campbell-Hausdorff formula in the free metabelian Lie algebra. J. Lie Theory. 17(2007), 525-538.
- [8] Drensky, V. and Findik, Ş. 2012. Inner and Outer Automorphisms of Free Metabelian Nilpotent Lie Algebras. Commun. Alg., 40(2012), 4389-4403.
- [9] Baker, H. F. 1901. On the exponential theorem for a simply transitive continuous group, and the calculation of the finite equations from the constants of structure. Proc. London Math. Soc., 34(1901), 91-127.
- [10] Findik, Ş. and Kelekci, O. 2020. Hausdorff series in a semigroup ring. Int. J. Alg. Comp., 30(2020), 853-859.
- [11] Howie, J.M. 1995. Fundamentals of Semigroup Theory. Clarendon Press, Oxford, 351s.

Bütünleşik ENTROPİ-ARAS Yöntemi ile Apart Seçimi

Suna ÇETİN¹ , Eylem ÇALIK¹ , Fatma Merve DÜĞÜN¹ 

¹Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE

(Alınış / Received: 17.03.2020, Kabul / Accepted: 04.08.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

ARAS Yöntemi,
ENTROPİ Yöntemi,
Apart Seçimi

Öz: Ülkemizde üniversite sınavı bireylerin hayatında önemli bir yere sahiptir. Özellikle üniversiteyi yasadığı yer dışında bir yerde kazananlar için hayatlarında yeni bir dönem başlamaktadır. Bu öğrencilerin karşılaşılabileceği sorunlardan belki de en önemlisi kalacak yer bulmaktır. Günümüzde her ilde devlet yurdu, özel yurt, apart, ev gibi seçenekler bulunmaktadır. Bu çalışmada daha çok apartların yer aldığı Kırıkkale ili Yenisehir bölgesinde apart seçimi problemi ele alınmış ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden ENTROPİ ve ARAS yöntemleri ile en uygun apart seçimi problemi hedeflenmiştir. Kriterler öğrencilerle yapılan görüşmelerle fiyat, kullanım alanı, B kapısına uzaklık (kampüsün Yenisehir girişi), elektronik eşya sayısı, oda sayısı olarak belirlenerek apartlar bu kriterlere göre değerlendirilmiş ve seçilmiştir.

Apart Selection By Integrated ENTROPY-ARAS Method

Keywords

ARAS Method,
ENTROPY Method,
Apartment Selection

Abstract: In our country, university exam has an important place in the life of individuals. A new era in life is beginning, especially for those who win a university outside the place where they live. Perhaps the most important problems of these student face up is finding a place to stay.

Nowadays, in every province there are options such as state dormitories, private dormitories, apartments and houses. In this study, the problem of apartments selection in Yenisehir region of Kırıkkale, where more apartments are located, has been addressed and the most appropriate apartment selection has been aimed with ENTROPY and ARAS which are methods of Multi Criterion Decision Making. The criteria are determined as the price, usage area, distance to gate B (entrance of the campus from Yenisehir), number of electronic goods, number of rooms by interviews with students. and apartments are evaluated due to these criteria.

*İlgili Yazar, email: sunacetin@kku.edu.tr

1. Giriş

Karar verme, birbiriyle çelişen ve aralarında rekabet olan kriterler ile değerlendirilen alternatifler kümesinden en uygun olanı seçmektir[1]. Karar verme, iki veya daha fazla eylem arasından seçim yapmaktır[2].

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) süreci; kararı etkileyen kriterin seçilmesi ve bunların problemin amacına bağlı olarak ağırlık değerlerinin belirlenmesi, alternatiflerin de kriterlere bağlı olarak sıralanması ve sıralanan alternatifler arasından seçim yapılmasıdır. ÇKKV problemlerinin yapısını; karara bağlı bir amaç, karara etki eden kriter ve bu değişkenlere bağlı olarak sıralama ve/veya seçim yapılacak alternatifler oluşturmaktadır[3]. Günlük hayatta birden fazla alternatif arasından bazı kriterlere göre birinin seçilmesi sıklıkla yaşanan durumdur.

Üniversite sınavını farklı bir şehirde kazanmak yeni bir şehirde yeni bir hayat kurmayı gerektirmektedir. Şehre alışmak, çocukluk döneminden çıkmak ve sorumluluk almak bireylerin hayatında yeni bir döneme girmek olarak

ifade edilebilir. Karşılaşılabilecek ilk sorun ya da çözülmesi gereken ilk problem kalacak yer bulmaktır. Şehirden şehire değişse de ev, devlet yurdu, özel yurtlar, apart gibi seçenekler söz konusudur. Kalacak yerin belirlenmesi farklı alternatifler arasından belirlenen bazı kriterlere göre seçim yapılması anlamında geldiğinden bir karar verme problemidir.

ÇKKV problemleri için çok sayıda yöntem önerilmiştir. Cömert(2018), yaptığı tez çalışmasında ÇKKV problemlerine ilişkin yapılan çalışmalara genel bakışı ve her yöntem için detaylı literatür incelemesi yer almaktadır[4]. Bu yöntemlerin her birinin bazı avantaj ve dezavantajları söz konusudur. Karar verici hangi yöntemi kullanacağına problem yapısına uygun ve sürecin özelliklerine göre karar verecektir.

Bir ÇKKV probleminde her bir kriterin farklı anlamı ve önemi olduğundan, her bir kriter için uygun ağırlığın hesaplanması gerekmektedir. Entropi yöntemi de ağırlık hesaplamak için önerilen yöntemlerdendir. Entropi yöntemi birçok karar verme probleminde kriterlerin objektif ağırlıklandırma işlemi için en fazla önerilen yöntemdir[5]

ÇKKV problemleri için geliştirilen en yeni yöntemlerden biri olan ARAS yöntemi Turskis ve Zavadskas tarafından 2010 yılında önerilmiştir[6]. Kısa bir algoritmasının olması ve dört işlemden fazlasını gerektirmeyen yapısıyla ARAS yöntemi; karar vericiler tarafından kolaylıkla uygulanabilir olması nedeni tercih edilen bir yöntemdir[7] ARAS yöntemi, tek başına kullanıldığı gibi AHP, ANP, SWARA, Entropi gibi yöntemlerle ağırlıklandırılarak veya TOPSIS, COPRAS, MOORA, gri sistem ve bulanık mantıkla gibi yöntemlerle bütünleşik bir şekilde kullanılmaktadır[8,9].

Son yıllarda Entropi ve Aras yöntemleri ile yapılan çalışmalar Cömert(), bakır ve atalık (2018), Ulutaş (2018), ömürbek vd.((2016) ve Çatı(2017) tarafından özetlenmiştir[4,8,9-12] .

2. Materyal ve Metot

2.1. Entropi Yöntemi

ÇKKV yöntemlerinde, kriter önem düzeyini belirten ağırlık değerleri subjektif ve objektif olmak üzere 2 iki farklı şekilde hesaplanmaktadır. AHP, Delfi yöntemi gibi subjektif yöntemlerde karar vericiler kriterleri değerlendirirken; entropi gibi objektif yöntemlerde, alternatiflerin sahip olduğu nicel özellikler dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır. Entropi 4 adımdan oluşmaktadır[13].

Adım 1: Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Karar matrisindeki ham verilerdeki farklı birimler Eşitlik (1) ile ortak ölçülebilir birimler haline getirilir ve normalize karar matrisi elde edilir

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^j x_{ij}} \quad (1)$$

Burada;

i = alternatifler

j = kriterler

rij = normalize edilmiş değerler

xij = i.alternatifin j.kriter için karar matrisindeki değeri

Adım 2: Kriterlere İlişkin Entropi Değerlerinin Bulunması

Kriterlerin entropi değerleri eşitlik (2) yardımıyla bulunur:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot \ln(r_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

k = entropi sabiti , eşitlik 3 ile hesaplanır.

$$k = \{(\ln(n))^{-1}\} \quad (3)$$

rij = normalize edilmiş değerler

ej = entropi değeri

Adım 3: Bilginin Farklılaşma Derecesinin (Ej) Hesaplanması

d_j değeri eşitlik 4 ile hesaplanır.

$$d_j = 1 - e_j \quad (4)$$

Adım 4: Entropi Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Entropi kriter ağırlıkları (Eşitlik 5) yardımıyla elde edilir:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^m d_j} \quad (5)$$

2.2. ARAS Yöntemi

ÇKKV yöntemlerinden biri olan ARAS (Additive Ratio Assessment Method) yöntemi, 2010 yılında Zavadskas ve Turskis tarafından geliştirilmiştir [6]. ARAS yöntemi 4 adımdan oluşmaktadır [7].

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması:

Diğer ÇKKV yöntemlerinden farklı olarak başlangıç karar matrisinde ilk satırda her kritere ait optimum değerler yer almaktadır.

$$\begin{bmatrix} X_{01} & X_{02} & \dots & X_{0n} \\ X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}; i = 0, 1, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

X_{ij} : i .alternatifin j .kriter değerde gösterdiği performans değerini göstermektedir ve $i=1,2,3\dots m$ ve $j=1,2,3\dots n$
Optimal değer bilinmiyorsa kriterin fayda (daha yüksek daha iyi) veya maliyet (daha düşük daha iyi) özelliğine göre (Eşitlik 7) ile hesaplanır.

Eğer $\max_i x_{ij}$ ise $x_{0j} = \max_i x_{ij}$

Eğer $\min_i x_{ij}$ ise $x_{0j} = \min_i x_{ij}$

Adım 2: Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Normalizasyonda problem amacına uygun olarak maksimum veya minimum olması istenen kriterlere ait normalize değerle fayda yönlü kriterler için Eşitlik 8 ve maliyet yönlü değerler için Eşitlik 9 kullanılmaktadır.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=0}^m X_{ij}} \quad (8)$$

$$\bar{X}_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\sum_{i=0}^m \frac{1}{x_{ij}}} \quad (9)$$

Adım 3: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması:

Kriterlere ilişkin önem katsayıları kullanılarak ağırlıklandırma işlemi yapılır. Kriterlere ilişkin önem katsayıları $0 < w_j < 1$ (15). Normalize edilmiş ağırlıklar (Eşitlik 10) yardımıyla elde edilir, ağırlıklı normalize karar matrisi eşitlik 11 de verilmiştir.

$$X_{ij} = \bar{X}_{ij} w_j \quad i = 0, 1, \dots, m \quad (10)$$

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{01} & \dots & \tilde{X}_{0j} & \dots & \tilde{X}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{X}_{i1} & \dots & \tilde{X}_{ij} & \dots & \tilde{X}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{X}_{m1} & \dots & \tilde{X}_{m1} & \dots & \tilde{X}_{mn} \end{bmatrix} i = 0, 1, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

Adım 4: Optimallik Fonksiyon Değerlerinin (S_i) Hesaplanması:

Bu adımda her bir alternatif için optimal değerler hesaplanır. Alternatiflere ait değerlerin hesaplanması eşitlik

(12) yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad i = 0,1, \dots, m \quad (12)$$

S_i , S_0 Alternatifin optimallik fonksiyonudur. Bu işlemin ardından alternatiflere ait S_i değerleri, S_0 optimal değerine oranlanır ve S_i fayda dereceleri elde edilir. S_i değerleri ise eşitlik (13) kullanılarak elde edilir.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad i = 0,1, \dots, m \quad (13)$$

Hesaplanan K_i [0,1] aralığındadır ve K_i değerinin büyükten küçüğe doğru sıralanır, alternatifler değerlendirilir.

2.3. Uygulama

Çalışmada, Kırıkkale ili Yenışehir mevkiinde (üniversite civarı) yer alan apartlardan birinin seçimi için ENTROPİ ve ARAS yöntemi uygulanmıştır. Öğrencilerle yapılan görüşmelerle, tek kişi baz alınarak fiyat (TL), kullanım alanı (m²), B kapısına uzaklık (m), eşya sayısı (adet) ve mutfak ve oturma odası bir sayılarak oda sayısı (adet) olmak üzere 5 kriter belirlenmiştir. Uygulamada ENTROPİ yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmış; elde edilen bu ağırlıklar ARAS yönteminde kullanılarak apart sıralaması yapılmıştır.

Seçimi yapılacak olan 8 apart için belirlenen kriterlere göre elde edilen veriler Tablo 1 de Karar Matrisi olarak verilmektedir.

Tablo 1. Karar Matrisi

	Fiyat (TL)	Kullanım Alanı(m ²)	B Kapısına Uzaklık(m)	Elektronik Eşya Sayısı	Oda Sayısı
A	350	30	750	3	2
B	475	25	400	4	1
C	600	35	260	5	2
D	575	45	500	4	3
E	550	55	230	4	2
F	500	60	500	3	3
G	550	30	450	4	2
H	450	40	600	4	2

2.3.1.ENTROPİ Yöntemi ile Çözüm

Adım 1: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Elde Edilmesi

Bu adımda her bir kritere ilişkin değerler (eşitlik 1) yardımıyla normalize edilmiştir. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 2 de verilmektedir.

Tablo 2. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

	Fiyat (TL)	Kullanım Alanı(m ²)	B Kapısına Uzaklık(m)	Elektronik Eşya Sayısı	Oda Sayısı
A	0,08642	0,09375	0,203252	0,096774	0,117647
B	0,117284	0,078125	0,108401	0,129032	0,058824
C	0,148148	0,109375	0,070461	0,16129	0,117647
D	0,141975	0,140625	0,135501	0,129032	0,176471
E	0,135802	0,171875	0,062331	0,129032	0,117647
F	0,123457	0,1875	0,135501	0,096774	0,176471
G	0,135802	0,09375	0,121951	0,129032	0,117647
H	0,111111	0,125	0,162602	0,129032	0,117647

Adım 2: Kriterlere İlişkin Entropi Değerlerinin Bulunması

Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanan entropi değerleri (e_j) hesaplanmış ve Tablo3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kriterlere İlişkin Entropi Değerleri (ej)

Fiyat	Kullanım Alanı	B Kapısına Mesafe	Elektronik Eşya Sayısı	Oda Sayısı
0,994339	0,979774	0,970564	0,994201	0,979943

Adım 3: Bilginin Farklılaşma Derecesinin Hesaplanması

Bir önceki adımda elde edilen kriterlere ilişkin entropi değerleri eşitlik (4) kullanılarak bilginin farklılaşma derecesi (H_j) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen (d_{ij}) değerleri Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 4. Kriterlere İlişkin (d_{ij}) Değerleri

Fiyat	Kullanım Alanı	B Kapısına Mesafe	Elektronik Eşya Sayısı	Oda Sayısı
0,005661	0,020226	0,029436	0,005799	0,020057

Adım 4: Entropi Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Bu adımda kriterlere ilişkin Entropi ağırlık değerleri eşitlik (5) yardımıyla elde edilmiştir. Elde edilen ağırlıklar tablo 5 de verilmektedir.

Tablo 5. Entropi Kriter Ağırlık Değerleri

Fiyat	Kullanım Alanı	B Kapısına Mesafe	Elektronik Eşya Sayısı	Oda Sayısı
0,069732	0,24915	0,362606	0,071438	0,247074

2.3.2.ARAS Yöntemi ile Çözüm**Adım 1:** Karar Matrisinin oluşturulması

ARAS yönteminin yapısı gereği kriterlere ilişkin optimal değerler eşitlik (7) yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 6’da (eşitlik 6 da görüldüğü gibi) karar matrisinde gösterilmiştir.

Tablo 6. Karar Matrisi

	MİN	MAKS	MİN	MAKS	MAKS
	Fiyat(TL)	Kullanım Alanı(m2)	B kapısına Uzaklık	Elektronik Eşya Sayısı	Oda Sayısı
Ao	350	60	230	5	3
A	350	30	750	3	2
B	475	25	400	4	1
C	600	35	260	5	2
D	575	45	500	4	3
E	550	55	230	4	2
F	500	60	500	3	3
G	550	30	450	4	2
H	450	40	600	4	2

Adım 2: Normalize Karar Matrisinin Elde Edilmesi

Bu adımda, optimal değerlerin veri setine eklenmesi ile oluşan karar matrisi standart değerlere dönüştürülmek üzere eşitlik (8) ve eşitlik (9) yardımıyla normalize edilmiş ve (Tablo 7) de verilmiştir.

Tablo 7. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

	Fiyat(TL)	Kullanım Alanı(m2)	B Kapısına Uzaklık	Elektronik Eşya Sayısı	Oda Sayısı
Ao	0,149715	0,157895	0,179188	0,138889	0,15
A	0,149715	0,078947	0,054951	0,083333	0,1
B	0,110316	0,065789	0,103033	0,111111	0,05
C	0,087334	0,092105	0,158513	0,138889	0,1
D	0,091131	0,118421	0,082427	0,111111	0,15
E	0,095273	0,144737	0,179188	0,111111	0,1

F	0,1048	0,157895	0,082427	0,083333	0,15
G	0,095273	0,078947	0,091585	0,111111	0,1
H	0,116445	0,105263	0,068689	0,111111	0,1

Adım 3: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin Elde Edilmesi

ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi ARAS yönteminde de alternatiflere ilişkin skorlar, önem düzeylerini gösteren ağırlık katsayıları ile çarpılmaktadır. Bu adımda da elde edilmiş Entropi ağırlık değerleri eşitlik (10) kullanılarak ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. örneğin, fiyat kriterine ait Entropi ağırlığı Tablo 7’de yer alan her bir sütun elemanı ile çarpılarak; ağırlıklandırılmış değerler elde edilmiştir. Ağırlıklandırma sonrası elde edilen karar matrisi Tablo 8’ de gösterilmiştir.

Tablo 8. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	Fiyat(TL)	Kullanım Alanı(m2)	B Kapısına Uzaklık	Elektronik Eşya Sayısı	Oda Sayısı
Ao	0,01044	0,039339	0,064975	0,009922	0,037061
A	0,01044	0,01967	0,019926	0,005953	0,024707
B	0,007693	0,016391	0,03736	0,007938	0,012354
C	0,00609	0,022948	0,057478	0,009922	0,024707
D	0,006355	0,029505	0,029888	0,007938	0,037061
E	0,006644	0,036061	0,064975	0,007938	0,024707
F	0,007308	0,039339	0,029888	0,005953	0,037061
G	0,006644	0,01967	0,033209	0,007938	0,024707
H	0,01044	0,039339	0,064975	0,009922	0,037061

Adım 4: Si , Ki değerleri ve sıralama

Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin elde edilmesinin ardından her bir alternatif için optimalite fonksiyon değerleri elde edilmiştir. Bu aşamada eşitlik (12) yardımıyla S_i değerleri ve eşitlik (13) yardımıyla da K_i fayda dereceleri hesaplanmıştır.

Tablo 9. S_i , K_i değerleri

Alternatifler	S_i	K_i
A	0,080696	0,49893185
B	0,081736	0,50536176
C	0,121145	0,74902383
D	0,110746	0,68473047
E	0,140324	0,86760791
F	0,11955	0,7391624
G	0,033256	0,20562054
H	0,034971	0,21622297

3. Bulgular

Son olarak K_i fayda dereceleri büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve böylece alternatifler performanslarına göre değerlendirilmiş ve Tablo10 da verilmiştir

..

Tablo 10. K_i değerleri ve sıralama

Alternatifler	K_i	Sıralama
A	0,49893185	6
B	0,50536176	5
C	0,74902383	2
D	0,68473047	4
E	0,86760791	1
F	0,7391624	3
G	0,20562054	8

H	0,21622297	7
---	------------	---

4. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde yerleşim yeri seçimi bireyler ve aileler açısından oldukça önemli bir karardır. Aileler için ev seçimi ne kadar önemli ise öğrenciler içinde apart seçimi de bir o kadar önem taşımaktadır. Çalışmada, Kırıkkale ili Yenişehir mevkiinde üniversite öğrencileri için önemli bir karar olan apart seçimi ÇKKV yöntemleri ile ele alınmıştır. Öğrencilerle yapılan görüşmelerle belirlenen 5 adet kriterin Entropi yöntemi ile ağırlıkları belirlenmiş; aras yöntemi ile 8 aday apart arasından seçim yapılmıştır. Sonraki çalışmalarda apart seçimi problemine farklı ÇKKV yöntemleri uygulanabilir.

Kaynakça

- [1] Saaty, T.L., 1986, Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process, Management Science, 32(7), 841-855.
- [2] Majumder, M., 2015, Impact of Urbanization on Water Shortage in Face of Climatic Aberration, Springer.
- [3] Aktaş, R., Doğanay, M.M., Gökmen, Y., Gazibey, Y., Türen, U., 2015, Sayısal Karar Verme Yöntemleri, Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- [4] Cömert, H.G., Akdeniz Ülkelerinin Turizm Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
- [5] Alp, İ., Öztel, A., Köse, M.S., 2015, ENTROPİ Tabanlı MAUT Yöntemi İle Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansı Ölçümü: Bir Vaka Çalışması, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 11(2), 65-81.
- [6] Zavadskas, E.K & Turskis, Z. 2010. A New Additive Ratio Assessment (ARAS) Method İn Multicriteria Decision-Making, Technological And Economic Development Of Economy, 16 (2), 159-172.
- [7] Yıldırım, B.F. 2015. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde ARAS Yöntemi. Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İİBF Dergisi, 6(9), 1309 – 4289.
- [8] Bakır, M., & Atalık, Ö. 2018. Entropi ve Aras Yöntemleriyle Havayolu İşletmelerinde Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi. İşletme Araştırmaları Dergisi, 10(1), 617- 638.
- [9] Turskis, Z., Zavadskas E.K., 2010, A Novel Method for Multiple Criteria, Analysis: Grey Additive Ratio Assessment (ARAS-G) Method, Informatica, 21(4), pp.597–610.
- [10] Ulutaş, A., 2019, Entropi Tabanlı EDAS Yöntemi İle Lojistik Firmaların Performans Analizi, Uluslararası İktisadi Ve İdari İncelemeler Dergisi, 23, 53-66
- [11] Ömürbek, N., Eren, H., & Okan, D. A. 2017. ENTROPİ-ARAS ve ENTROPİ-MOOSRA Yöntemleri ile Yaşam Kalitesi Açısından AB Ülkelerinin Değerlendirilmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 10(2), 29-48.
- [12] Çatı, K., Eş, A., Özevin, O., 2017, Futbol Takımlarının Finansal Ve Sportif Etkinliklerinin Entropi Ve Topsıs Yöntemiyle Analiz Edilmesi: Avrupa'nın 5 Büyük Ligi Ve Süper Lig Üzerine Bir Uygulama, Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, Cilt 13, Sayı 1,
- [13] Lotfi, F.H., Fallahnejad, R., 2010, Imprecise Shannons Entropy And Multi Attribute Decision Making, Entropy, 12.

Farklı Delik Delme İşlemlerinde Maliyet Hesabı İçin Program Geliştirme

Tugay ÜSTÜN^{*1}, Yakup TURGUT²

^{*1}Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği, ANKARA

²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği, ANKARA

(Alınış / Received: 11.06.2019, Kabul / Accepted: 03.03.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Delik Delme,
Maliyet Hesabı,
Programlama,
C#

Öz: İmalat süreçlerinin önde gelen işlemlerinden biri de delik delme işlemidir. Özellikle makine imalat sektöründe delik delme işlemleri, imalat süreçlerindeki zamanın üçte birini oluşturmaktadır. İmalat süreçlerinde bu kadar süreyi teşkil eden delik delme işlemi hem aldığı süre bakımından hem de kullanılan kesiciler bakımından oldukça maliyet oluşturmaktadır. Bu çalışmada, CNC tezgâhlarda delik delme işlemlerinde kullanılan üç ayrı yöntemin maliyet açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Bu yöntemler, doğrudan delme, talaş boşaltarak delme (gagalama) ve talaş kırarak delmedir. Bu üç yöntemde de CNC dik işleme merkezinde kesici takım firmasının önerdiği veriler ile Meral ve arkadaşlarının tavsiye ettiği kesme parametreleri kullanılarak delikler delinmiş ve işleme süreleri kaydedilmiştir. Microsoft Visual Studio 2017 C# paket programı yardımı ile tezgâh amortismanından işçilik maliyetlerine kadar tüm sürecin maliyetlerini hesaplayan bir program hazırlanmıştır. Program sayesinde, delik sayısına bağlı olarak her bir delme yöntemine ait işleme maliyetleri elde edilebilmektedir. Ayrıca program sayesinde, farklı kesme parametreleri için delik delme işlemlerindeki maliyetler de hesaplanabilmektedir.

Program Development for Cost Calculation in Different Hole Drilling Operations

Keywords

Drilling,
Cost Accounting,
Programming,
C#

Abstract: Drilling operation is one of the most frequently used process in manufacturing industry. Especially in machine manufacturing sector, drilling operations take one third of the total production time. Drilling operation cost a lot, not only because of taking some important time of total production time, but also because of the drill usage for this process. In this study, the cost comparison of three different methods evaluated for drilling operation in CNC machines. These methods are drilling cycle (G81), high-speed peck drilling cycle (G73) and deep hole peck drilling cycle (G83). The experiments were performed according to the cutting parameters suggested by Meral et al. with the cutting tool company, and the machining times measured in these three different methods. A novel program coded on Microsoft Visual Studio 2017 C#, which is able to calculate from machine amortization to workmanship, the whole process cost. Process costs can be calculated according to the number of holes in these different methods, through this program. Furthermore, drilling operation costs can be calculated for different cutting parameters too.

*İlgili Yazar, email: tugayustun1989@hotmail.com

1.

Giriş

Delik delme işlemi yaygın olarak kullanılan üç talaşlı imalat (tornalama, frezeleme, delik delme) işleminden biridir. İmalat sonucu elde edilen çeşitli mamul ya da yarı mamuller incelendiğinde, birçoğunda delik delme işlemi olduğu görülmektedir. Örneğin, bir uçağın kanadındaki ve gövdesindeki perçinlerin, motor blokları ve silindirik kapaklarındaki civataların ve çeşitli tüketici ürünlerinde deliklerin çok sayıda olduğu görülür. Civata, vida, perçin gibi bağlantı elemanlarıyla montaj yapmak için delikler kullanılır. Delik delme işlemiyle diğer talaşlı imalat işlemleri arasında bir kıyas yapıldığında, delik delme işleminin yaklaşık %33'lük uygulanma oranı ile en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biri olduğu söylenebilir [1, 2]. Delik delme işlemlerinden matkapla delik

delme kullanılan en yaygın delik delme yöntemidir. Delik delme işlemi otomotiv sektörü için motor üretiminde maliyeti en yüksek olan işlemlerden biri durumundadır [3, 4].

Delik delme işlemleri esnasında oluşan ısı malzemenin ve takımın ısıl iletkenliğine bağlı olarak ve talaşın uzaklaşmasıyla kesme bölgesinden ayrılmaktadır. Ancak delik delme proseslerinin birçoğu derin deliklerden oluşmaktadır [5, 6]. Bu derin deliklerde ısının azaltılması daha zor olmaktadır. Bunun sebeplerinden biri de talaşın istenildiği gibi delikten uzaklaştırılamaması, takımın uzun süre işleme maruz kalması ve ısınan bölgelerin soğumaya zaman bulamamasından kaynaklanmaktadır [7, 8]. Bu tür problemler kesici takımın çabuk aşınmasına, delik kalitesinde azalmaya, bu da maliyetlerde ciddi yükselmeye sebep olmaktadır [9, 10]. Bu tür problemlerin çözümü için endüstride matkapla delik delme işlemleri üç yöntemle ayrılmıştır [11]. Bunlar; doğrudan delik delme, talaş kırma delik delme ve talaş boşaltmalı delik delme yöntemleridir [12, 13].

Diğer taraftan günümüzde işletmeler için toplanan üretim verileri, şirket yöneticilerinin uzun, orta ve kısa vadede karar vermelerinde yol göstermesi açısından oldukça önemlidir. Buna istinaden, son yıllarda rekabet şartlarına uyum sağlayabilmek için işletmeler yeni nesil maliyet sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda, toplam mamul maliyetini dolaylı olarak meydana getiren unsurların veya genel üretim maliyetlerini mamullere yükleyen yeni bir sistem ortaya çıkmıştır [14]. Buna ek olarak, bilgisayarların yaygınlaşmasıyla, üretilen ürünler üzerinde yer alan üretim işlemlerinin seçilen üretim yöntemine ve kesicilere göre işlem zamanlarının ve maliyetlerinin hesaplanmasına yönelik, Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) ve Bilgisayar Destekli İşlem Planlaması (BDİP) geliştirilmiştir. Özellikle prizmatik iş parçaları üzerinde bulunan unsurların imalatı için işleme yöntemlerinin seçimini otomatikleştiren sistemler üzerinde durulmaktadır. Pamukoğlu ve Göloğlu çalışmalarında, mamullerde bulunacak delik tiplerinin işlenmeleri sürecinde üretim yöntemi ve seçilen kesiciye göre işlem sırasını, süresini ve maliyetini oluşturup en uygun maliyetli olanı seçerek öneren bir sistem geliştirmişlerdir [15, 16].

Bu çalışmada, CNC tezgâhlarda delik delme işlemlerinde kullanılan üç ayrı yöntemin maliyet açısından karşılaştırması yapılmıştır. Bu yöntemler, doğrudan delik delme, talaş kırarak delik delme ve talaş boşaltarak delme (gagalama) yöntemleridir. Bu üç yöntemde de CNC dik işleme merkezinde kesici takım firmasının önerdiği veriler ile Meral ve arkadaşlarının çalışmalarında kullandığı kesme parametreleri [17, 18] kullanılarak delikler delinmiş ve işleme süreleri çıkartılmıştır. Microsoft Visual Studio 2017 C# paket programı yardımı ile tezgâh amortismanından işçilik maliyetlerine kadar tüm sürecin maliyetlerini hesaplayan bir program hazırlanmıştır. Program sayesinde, bu üç yöntemde de delik sayısına bağlı olarak işleme maliyetleri hesaplanabilmektedir. Ayrıca program sayesinde, farklı kesme parametreleri için delik delme işlemlerindeki maliyetlerde hesaplanabilmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Malzeme olarak Tablo 1’de kimyasal özellikleri verilmiş olan, imalat işlemlerinde yaygın olarak kullanılan AISI 1050 standardına uygun 100 x 80 x 24 mm boyutlarında plaka şeklinde çelik malzeme seçilmiştir. İçerdikleri yüksek oranda karbon miktarından dolayı karbon çelikleri olarak da bilinmektedir. Sertleşebilirlikleri içerdikleri karbon miktarına paralel olarak artarken toklukları ise karbon miktarı ile ters orantılıdır. Taşıt, motor, makine ve aparat yapımında orta zorlamalı parçalarda, cer kancaları, dişliler, miller ve kalıp setlerinde kullanılmaktadır [19].

Tablo 1. AISI 1050 kimyasal bileşimi [19]

C	Si	Mn	Pmax	Smax	Crmax	Momax	Nmax
0,45-0,55	0,25-0,35	0,60-0,90	0,040	0,050	0,40	0,10	0,40

Bağlama aparatı olarak Şekil 1’de görüldüğü üzere CNC dik işleme merkezi üzerinde bulunan çelik mengene kullanılmıştır ve parçanın yataylığı mengeneye bağlandıktan sonra komparatör saati ile kontrol edilmiştir.



Şekil 1. Delme işlemi görüntüsü

2.2. Kesici takım ve CNC tezgâh

Deneylerde kullanılan 8mm çapındaki haddeli HSS matkap Şekil 2’de gösterilmiştir ve özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 2. 8mm HSS matkap [20]

Tablo 2. Kesici takım özellikleri [20]

Malzeme	Çap	Standart	Tipi	Uç Açısı	Kesme Yönü	Sap Geometrisi	Üretim Yöntemi
HSS	8mm	DIN 338 TS ISO 235	N	118°	Sağ	Silindirik	Haddeli

Deneylerde takım tezgâhı olarak Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında bulunan Johnford VMC – 550 marka CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. Tezgâh özellikleri Tablo3’te verilmiştir.

Tablo 3. CNC özellikleri

Tezgâh’ın Gücü	7,5 KW
En Yüksek Devir Sayısı	6000 dev/dakika
Sırasıyla x,y,z Ekseninde Kurs	600, 500, 600 mm
Ölçü Hassasiyeti	0,001mm

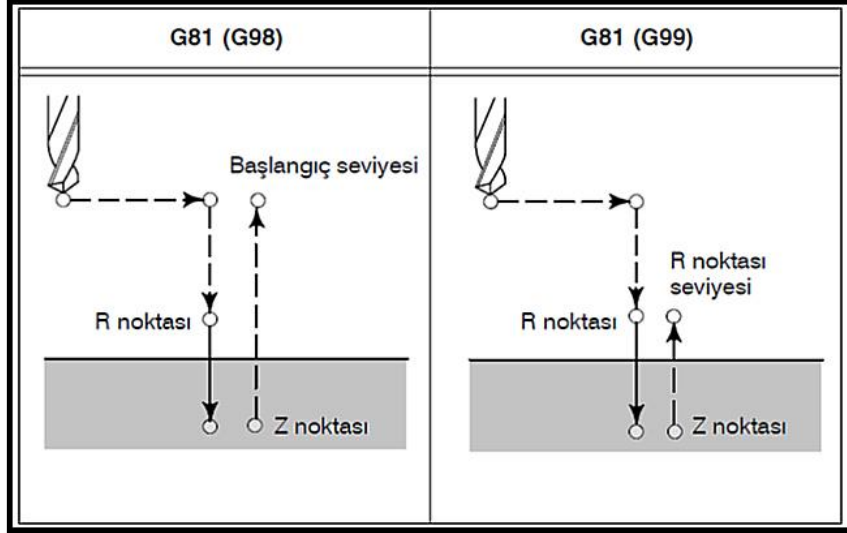
2.3. Kesme parametreleri ve kullanılan çevrimler

Kesme parametresi olarak kesici takım firmasının önerdiği veriler ile Meral ve arkadaşlarının tavsiye ettiği veriler doğrultusunda kesme hızı 20 m/dak ve ilerleme değeri 0,1 mm/dev kullanılmıştır [18, 20]. CNC dik işleme tezgâhlarında delik delmek için üç tip çevrim kullanılmaktadır [11]. Bunlar;

- G81: Doğrudan delik delme
- G73: Talaş kırmalı delik delme
- G83: Talaş boşaltmalı delik delme yöntemidir [21].

2.3.1. Doğrudan delik delme yöntemi (G81)

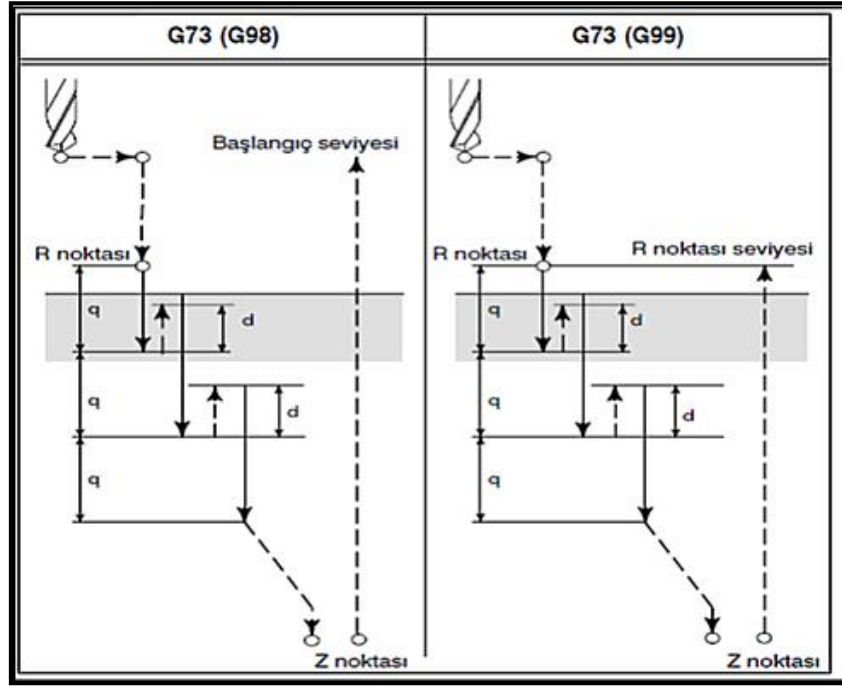
Şekil 3'te belirtildiği üzere, doğrudan delik delme yöntemi (G81) delme işlemini gagalama yapmadan yani tek seferde gerçekleştiren yöntemdir. Bu yöntemde, matkap ilk olarak başlangıç seviyesindedir ve R (güvenli) noktasına hızlı ilerler. Sonrasında verilen devir sayısı ve ilerleme ile delme işlemini Z noktasına kadar sürdürür. Son olarak, eğer bu çevrim G98 kodu ile uygulanırsa, başlangıç seviyesine hızlı bir şekilde ilerleyerek çevrimi tamamlayacaktır. Eğer G99 kodu ile uygulanırsa, bu sefer Z noktasından R seviyesine hızlı ilerleyerek çevrimi sonlandırır [13, 22].



Şekil 3. G81 yönteminin gösterimi [22]

2.3.2. Talaş kırmalı delik delme yöntemi (G73)

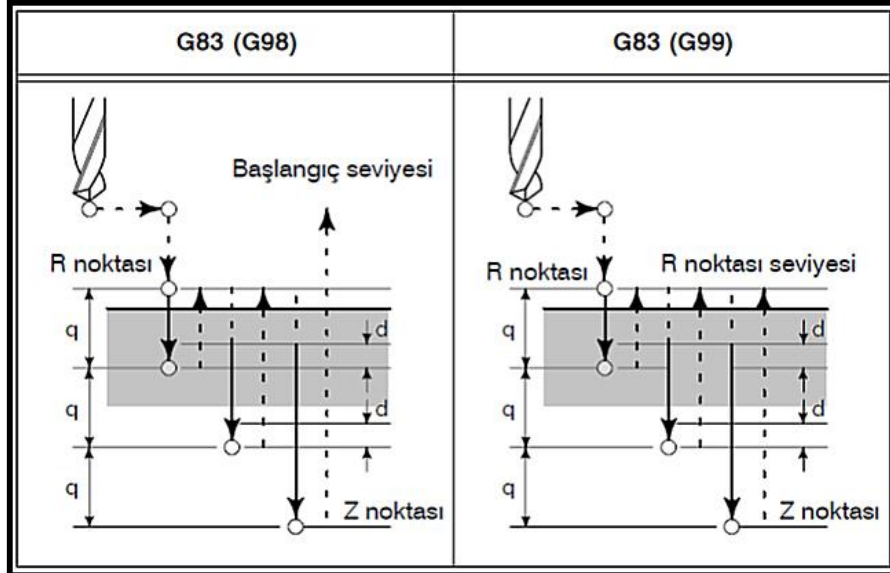
Şekil 4'te belirtilen talaş kırmalı delik delme yönteminde (G73) amaç delik delme esnasında oluşan talaşın istenen boyutlarda kırılarak delik içerisinden uzaklaşmasının kolaylaşmasıdır. Bu çevrimde matkap başlangıç noktasından R noktasına hızlı ilerler ve R noktasında verilen ilerleme hızı ve devir sayısına göre kesmeye başlar. Bu işlem çevrimde verilen dalma miktarı (q) kadar devam eder. Daha sonra geri çıkma miktarı (d) kadar, oluşan talaşı kırmak için, hızlı bir şekilde geri çıkar ve yeniden q kadar ilerleyerek delik sonuna (z noktası) ulaşır. Son olarak, eğer bu çevrim de G98 kodu ile uygulanırsa, başlangıç seviyesine hızlı bir şekilde ilerleyerek çevrimi tamamlayacaktır. Eğer G99 kodu ile uygulanırsa, bu sefer Z noktasından R noktasına hızlı ilerleyerek çevrimi sonlandırır [13, 22].



Şekil 4. G73 yönteminin gösterimi [22]

2.3.3. Talaş boşaltmalı delik delme yöntemi (G83)

Şekil 5'te belirtilen talaş boşaltmalı delik delme yönteminde (G73) ise amaç, özellikle derin deliklerde, delik delme esnasında oluşan talaşın istenen boyutlarda ve miktardaki talaşın delik içinden tahliye edilmesidir. Bu çevrimde matkap başlangıç noktasından R noktasına hızlı ilerler ve R noktasında verilen ilerleme hızı ve devir sayısına göre kesmeye başlar. Bu işlem yine çevrimde verilen dalma miktarı (q) kadar devam eder. Daha sonrasında ise geri çıkma işlemi her seferinde R noktasına kadardır. Sonrasında yine hızlı ilerleyerek bir önceki delinen noktanın d mesafesi kadar yakınına iner. Daha sonra delme işlemine q kadar devam eder ve bu şekilde ilerleyerek z noktasına ulaşır. Son olarak, eğer bu çevrim de G98 kodu ile uygulanırsa, başlangıç seviyesine hızlı bir şekilde ilerleyerek çevrimi tamamlayacaktır. Eğer G99 kodu ile uygulanırsa, bu sefer Z noktasından R noktasına hızlı ilerleyerek çevrimi sonlandırır [13, 22].



Şekil 5. G83 yönteminin gösterimi [22]

2.4. Program yapısı

Delik Maliyet Programı (DMP)'nın tasarımı ve yazılımı Microsoft Visual Studio 2017 C# paket programı kullanılarak yapılmıştır. Programın ara yüzü Şekil 6'da verilmiştir.

Bu programda genel anlamda, girilen delme parametreleri ve seçilen delme yöntemi bilgilerine bağlı olarak işleme süresi belirlenebilmektedir. Buna bağlı olarak günümüz şartlarındaki aylık işçilik, tezgâh ve kullanılan kesici takım maliyetleri delme maliyetine eklenmektedir. Ayrıca çalışmaya bağlı olarak değişen hazırlık maliyeti ve takım değiştirme maliyeti de dinamik olarak hesaba katılabilmektedir. **bnkzŞekil 6.** Programın akış diyagramı Şekil 7’de gösterilmiştir.

Programda kullanılan formülasyon; Eşitlik 1’de T takım ömrü – (dak); d takım çapı – (mm); V kesme hızı – (m/dak); e kesme derinliği – (mm); f ilerleme – (mm/dev) ’dir.

$$T = (8 * d^{0,4} * v * f^{0,7})^5 \text{ (dak)} \quad (1)$$

İşleme maliyetinin hesaplanmasında esas olarak kullanılan işleme süresinin her işlem için ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. Daha önce her işlem için hesaplanan delme derinlikleri Eşitlik 2’de yerine koyulursa esas işleme süreleri bulunur [16, 23]. Esas işleme süresi;

$$th = 1,1 * i * Ln * f \text{ (dak)} \quad (2)$$

Burada; i aynı çapta ve derinlikte olan delik sayısı; L delme derinliği – (mm); n devir sayısı – (dev / dak); f ilerleme – (mm / dev) ’dir. Eşitlik 3’te işçilik maliyeti (Mi): İşçilik saat ücretidir. Hazırlık zamanı maliyeti (MH): Her çözüm için sadece birinci işlemde hesaplanır. Tezgâh maliyeti (MT): Bu maliyet hesaplanırken, tezgâh alım fiyatı, tezgâh hurda fiyatı, tezgâhın kullanıldığı süre (10 yıl), tezgâhın gücü, tezgâhın tamir bakım ücreti, 1KWh enerji fiyatı ile amortisman maliyeti (MA), harcanan enerji maliyeti (ME), tezgâh bakım onarım maliyeti (MB) hesaplanır ve (MT) bulunur.

$$MT = MA + ME + MB \quad (3)$$

Kesici takım maliyeti (MK), takım değiştirme maliyeti (MTD) ve tüm bu hesaplamalardan sonra delme işleminin toplam maliyeti (M) Eşitlik 4’te gösterildiği formülle bulunur [9];

$$M = Mi + MH + MT + MK + MTD \quad (4)$$

Delik Maliyet Programının çalışması ve formülasyonu hakkında ayrıntılı bilgi Üstün’ün çalışmasında bulunmaktadır [24].

Delik Maliyet Programının kullanımı için öncelikle Şekil 6’da 1 numara ile gösterilen bölümde uygulanan delik delme yöntemi seçilir. Ardından Şekil 6’da 2 numara ile gösterilen bölümler doldurulur. Bu bölümlerdeki veriler Tablo4’te örnek olarak verilen değerler ile doldurulmuştur ve isteğe bağlı olarak güncel olan verilerle değiştirilebilir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan delik delme parametreleri ise 3 numara ile gösterilen yerlere yazılır. Sonuçlar “DELİK DELME MALİYETİ HESAPLA” butonu ile hesaplatılır.

DELİK MALİYET PROGRAMI

Talaş Boşaltmalı Delik Delme Yöntemi

KESME HIZI VE TAKIM ÖMRÜ

ilerleme (mm/dev) 0,1

matkap çapı (mm) 8

kesme hızı (m/dak) 20

takım ömrü (dak) 2072,43

İŞLEME SÜRESİ

delik sayısı 1

delik derinliği (mm) 27,5

dalma miktarı (mm) 5

işleme süresi (dak) 0,56

İŞÇİLİK MALİYETİ

aylık işçi maliyeti (tl) 4000

işçilik maliyeti (tl) 0,16

hesapla

tugayüstün

AMORTİSMAN MALİYETİ

tezgah alım fiyatı (tl) 100000

tezgah hurda fiyatı (tl) 10000

amortisman süresi (yıl) 10

amortisman maliyeti (tl) 0,04

ENERJİ MALİYETİ

tezgah gücü (kw) 7,5

enerji fiyatı (tl/kwh) 0,45

enerji maliyeti (tl) 0,03

BAKIM-ONARIM MALİYETİ

aylık bakım ücreti (tl) 100

bakım maliyeti (tl) 0

TEZGAH MALİYETİ

tezgah maliyeti (tl) 0,08

hesapla

KESİCİ TAKIM MALİYETİ

kesici takım fiyatı (tl) 14

kesici takım maliyeti (tl) 14

HAZIRLIK MALİYETİ

hazırlık süresi (dak) 30

hazırlık maliyeti (tl) 8,33

TAKIM DEĞİŞTİRME MALİYETİ

takım değiştirme süresi (dak) 2

takım değiştirme maliyeti (tl) 0,56

DELİK DELME MALİYETİ HESAPLA

Toplam Delme Maliyeti = 23,12 TL'dir.

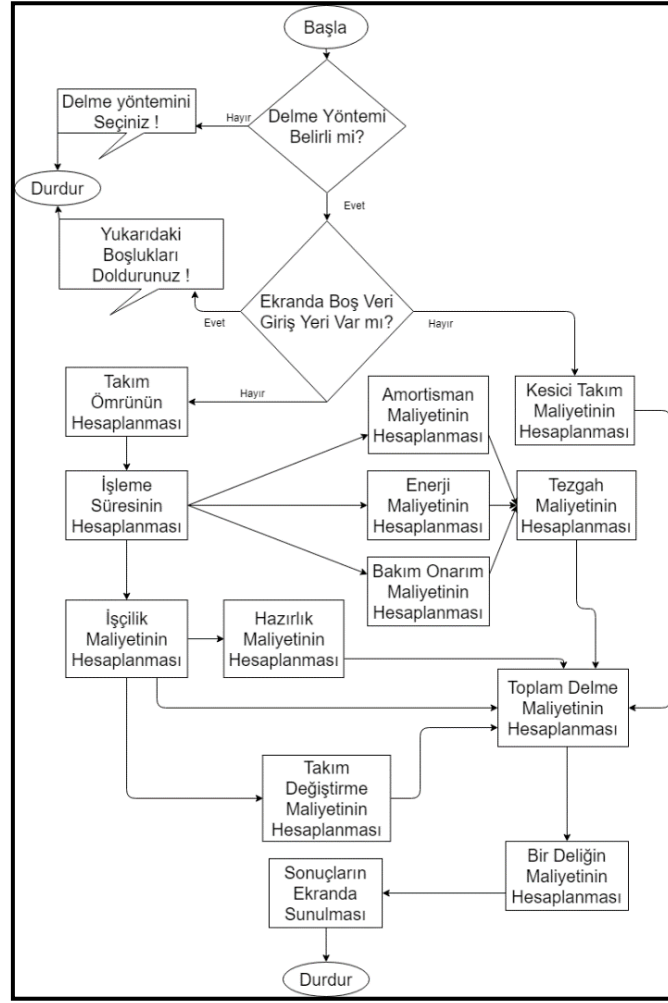
Bir Delğin Maliyeti = 23,12 TL'dir.

\\ÇIKIŞ\\

Şekil 6. Delik Maliyet Programı (DMP) ara yüzü

Tablo 4. DMP'de alınan sabit veriler

Delik sayısı	1
Delik derinliği	27,5 mm
Dalma miktarı	5 mm
Aylık işçi maliyeti	4000 TL
Tezgâh alım maliyeti	100000 TL
Tezgâh hurda maliyeti	10000 TL
Amortisman süresi	10 yıl
Enerji fiyatı	0,45 TL/kWh
Aylık bakım ücreti	100 TL
Kesici takım fiyatı	14 TL
Hazırlık süresi	30 dakika
Takım değiştirme süresi	2 dakikadır



Şekil 7. Programın akış diyagramı

3. Bulgular

Bu kısımda deney ortamında üç yöntemle uyguladığımız delik delme deneylerinden çıkan bulgular ve Delik Maliyet Programından elde edilen veriler sunulmuştur.

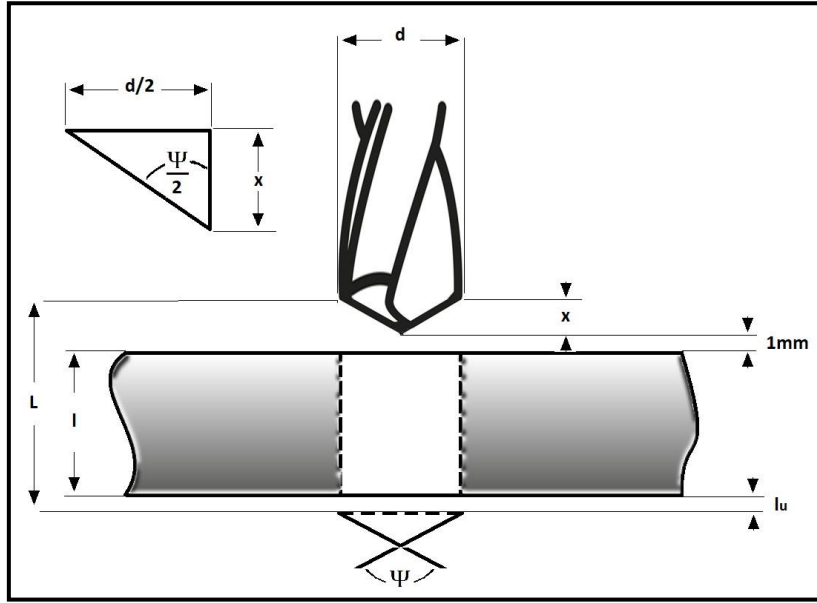
Bu çalışmada, Tablo 5'te belirtilen genel delme koşulları kullanılmıştır.

Tablo 5. Delme deneylerindeki genel koşullar

Malzeme	AISI 1050 çelik
Kesici takım	8mm HSS kaplamasız matkap
Kesme hızı	20 m/dakika
İlerleme	0,1 mm/devir
Delik derinliği (l)	24 mm (boydan boya)

3.1. Doğrudan Delik Delme Yöntemi (G81)

Doğrudan delik delme yöntemiyle yapılan delik delme çalışmasında matkap gagalama olmaksızın kullanılan malzemeyi delmiş ve alttan patlatmıştır. CNC takım tezgahlarında delme işlemi yapılırken öncelikle takım güvenli bir mesafede iş parçasına temas etmeden konumlanmış, ardından verilmiş olan ilerleme ve devir sayısında delme işlemine başlamıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada R güvenli yaklaşma noktası, parça üzerinden 1mm yükseklikte olacak şekilde belirlenmiştir. Şekil 8'de lu ile gösterilen mesafe kör deliklerde 0, alttan patlatmalı deliklerde ise pozitif değer alınmaktadır [23]. Eşitlik 5'teki formülasyon neticesinde x değeri 2,404 mm bulunmuştur. Bu sebeple lu mesafesi ve x değeri toplam 2,5 mm alınmıştır. Sonuçta, delik delme deneylerinde ve DMP'de Eşitlik 6'daki formül esas alınarak toplam delme mesafesi (L) 27,5 mm olmuştur.



Şekil 8. Delme kurs boyu [23]

$$\tan(\Psi/2) = \frac{d}{2x} \text{ ise } x = d/(2\tan(\Psi/2)) \quad (5)$$

$$L = l + x + 1 + lu \quad (6)$$

Deney sonuçlarına göre doğrudan delik delme yönteminde bir delik 24 saniyede yani 0,4 dakikada tamamlanmıştır. Delik Maliyet Programındaki sonuçlarda ise aynı parametreler girildiğinde bir delik için işlem süresinin 0,38 dakika olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde işleme süresinde 0,02 dakika sapma olduğu gözlemlenmiştir.

Maliyet hesaplamada ise delik sayısını bir aldığımız için program bir delikte takımın aşındığını ayrıca hazırlık süresini ve takım değiştirme süresini yalnız bir delik için hesaplanmıştır. Buna göre 0,38 dakikalık delik delme maliyeti 23,05 TL olarak bulunmuştur. **bknzŞekil 9.**

DELİK MALİYET PROGRAMI			
Doğrudan Delik Delme Yöntemi			
KESME HIZI VE TAKIM ÖMRÜ		AMORTİSMAN MALİYETİ	
ilerleme (mm/dev)	0,1	tezgah alım fiyatı (tl)	100000
matkap çapı (mm)	8	tezgah hurda fiyatı (tl)	10000
kesme hızı (m/dak)	20	amortisman süresi (yıl)	10
takım ömrü (dak)	2072,43	amortisman maliyeti (tl)	0,03
İŞLEME SÜRESİ		ENERJİ MALİYETİ	
delik sayısı	1	tezgah gücü (kw)	7,5
delik derinliği (mm)	27,5	enerji fiyatı (tl/kwh)	0,45
işleme süresi (dak)	0,38	enerji maliyeti (tl)	0,02
İŞÇİLİK MALİYETİ		BAKIM-ONARIM MALİYETİ	
aylık işçi maliyeti (tl)	4000	aylık bakım ücreti (tl)	100
işçilik maliyeti (tl)	0,11	bakım maliyeti (tl)	0
TEZGAH MALİYETİ		DELİK DELME MALİYETİ HESAPLA	
tezgah maliyeti (tl)		0,05	
hesapla		Toplam Delme Maliyeti = 23,05 TL'dir.	
tugayüstün		Bir Deliğin Maliyeti = 23,05 TL'dir.	
		\\ÇIKIŞ\\	

Şekil 9. DMP'de doğrudan delik delme uygulaması

3.2. Talaş Kırmalı Delik Delme Yöntemi (G73)

Talaş kırmalı delik delme yönteminde talaşın derin delik esnasında istenenden fazla uzamaması için takımın belirlenen dalma seviyesinde bir miktar yukarı çıkarak talaşı kırması ve tekrar delmeye devam ettirilmesi esastır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada tıpkı doğrudan delik delme yönteminde olduğu gibi R güvenli yaklaşma noktası, parça üzerinden 1mm yükseklikte olacak şekilde belirlenmiştir. Yine lu mesafesi ve x değeri toplam 2,5 mm alınmıştır ve toplam delme mesafesi (L) 27,5 mm olmuştur. Ayrıca, dalma miktarı 5 mm olarak alınmıştır.

Deney sonuçlarına göre talaş kırmalı delik delme yönteminde bir delik 29 saniyede yani 0,48 dakikada tamamlanmıştır. Delik Maliyet Programındaki sonuçlarda ise aynı parametreler girildiğinde bir delik için işlem süresinin 0,47 dakika olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde işleme süresinde 0,01 dakika sapma olduğu gözlemlenmiştir.

Maliyet hesaplamada ise delik sayısını bir aldığımız için program bir delikte takımın aşındığını ayrıca hazırlık süresini ve takım değiştirme süresini yalnız bir delik için hesap etmiştir. Buna göre 0,47 dakikalık delik delme maliyeti 23,08 TL olarak bulunmuştur. **bknzŞekil 10.**

KESME HIZI VE TAKIM ÖMRÜ		AMORTİSMAN MALİYETİ		KESİCİ TAKIM MALİYETİ	
ilerleme (mm/dev)	0,1	tezgah alım fiyatı (tl)	100000	kesici takım fiyatı (tl)	14
matkap çapı (mm)	8	tezgah hurda fiyatı (tl)	10000	kesici takım maliyeti (tl)	14
kesme hızı (m/dak)	20	amortisman süresi (yıl)	10		
takım ömrü (dak)	2072,43	amortisman maliyeti (tl)	0,03		
İŞLEME SÜRESİ		ENERJİ MALİYETİ		HAZIRLIK MALİYETİ	
delik sayısı	1	tezgah gücü (kw)	7,5	hazırlık süresi (dak)	30
delik derinliği (mm)	27,5	enerji fiyatı (tl/kwh)	0,45	hazırlık maliyeti (tl)	8,33
dalma miktarı (mm)	5	enerji maliyeti (tl)	0,03		
işleme süresi (dak)	0,47				
İŞÇİLİK MALİYETİ		BAKIM-ONARIM MALİYETİ		TAKIM DEĞİŞTİRME MALİYETİ	
aylık işçi maliyeti (tl)	4000	aylık bakım ücreti (tl)	100	takım değiştirme süresi (dak)	2
işçilik maliyeti (tl)	0,13	bakım maliyeti (tl)	0	takım değiştirme maliyeti (tl)	0,56
hesapla		hesapla		DELİK DELME MALİYETİ HESAPLA	
tugayüstün				Toplam Delme Maliyeti = 23,08 TL'dir. Bir Deliğin Maliyeti = 23,08 TL'dir.	
				\\ÇIKIŞ\\	

Şekil 10. DMP'de talaş kırmalı delik delme uygulaması

3.3. Talaş Boşaltmalı Delik Delme Yöntemi (G83)

Talaş boşaltmalı delik delme yönteminde ise talaşın derin delik esnasında istenenden fazla uzamaması ve talaş tahliyesinin kontrol edilmesi için gagalama yaptırılır. Talaş boşaltma işlemi takımın belirlenen dalma seviyesine ilerledikten sonra R seviyesine çıkarak talaşı tahliye etmesidir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada önceki delik delme yöntemlerinde olduğu gibi R güvenli yaklaşma noktası, parça üzerinden 1mm yükseklikte olacak şekilde belirlenmiştir. Yine lu mesafesi ve x değeri toplam 2,5 mm alınmıştır ve toplam delme mesafesi (L) 27,5 mm olmuştur. Ayrıca, dalma miktarı yine 5 mm olarak alınmıştır.

Deney sonuçlarına göre talaş boşaltmalı delik delme yönteminde bir delik 31 saniyede yani 0,52 dakikada tamamlanmıştır. Delik Maliyet Programındaki sonuçlarda ise aynı parametreler girildiğinde bir delik için işlem süresinin 0,56 dakika olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde işleme süresinde 0,04 dakika sapma olduğu gözlemlenmiştir.

Maliyet hesaplamada ise delik sayısını bir aldığımız için program bir delikte takımın aşındığını ayrıca hazırlık süresini ve takım değiştirme süresini yalnız bir delik için hesap etmiştir. Buna göre 0,52 dakikalık delik delme maliyeti 23,12 TL olarak bulunmuştur. **bknzŞekil 11.**

Şekil 11. DMP’de talaş boşaltmalı delik delme uygulaması

4. Tartışma ve Sonuç

AISI 1050 imalat çeliğinin üç delik delme yöntemi ile CNC dik işleme merkezinde delinmesi ve bu yöntemlerin C# paket programında hazırlanan maliyet hesaplama programı ile hesaplanması sonucu elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Her üç delik delme yönteminde de gerçek delme şartlarında ortaya çıkan süreler tespit edilmiştir.
- Delik delme süreleri bakımından en kısa süre alan delme yönteminin doğrudan delme daha sonra talaş kırarak delik delme ve en sonda talaş boşaltarak delik delme yöntemi olduğu ortaya çıkmıştır.
- Parametreler aynı kalmak şartıyla, geliştirilen Delik Maliyet Programının süreler açısından gerçeğe yakın çalıştığı doğrulanmıştır.
- Delik Maliyet Programıyla tahmini takım ömrü hesaplatılmıştır.
- İşçilik, tezgâh, sarf malzemesi, hazırlık çalışmaları ve takım değiştirme gibi ara işlemler de hesaba katılarak gerçeğe yakın bir maliyet hesaplatılabilmektedir.

Çalışmalar ve değerlendirmeler sonucunda bazı önerilerde bulunulmuştur. Bunlar;

- Programın birden çok delik delinmesindeki hesaplamaların testi için daha fazla delik delme ile test edilebilir.
- Programdaki delik delme formüllerinin daha değişken koşullara uyması için farklı varyasyonlar denenebilir.
- Programı farklı alanlarda da maliyet hesaplayabilecek şekilde eklemeler yapılabilir. Hatta bu bir mamulün işletmedeki tüm süreçlerini ele alıp ayrı ayrı ve toplam maliyet olarak hesaplatılabilir.
- Şirketlerin maliyetinde daha doğru sonuca ulaşabilmek için kırtasiye, kira gibi daha fazla gider eklenebilir.
- Yapılan hesaplamaların rapor halinde çıktı alınması sağlanabilir.
- Hesaplanan değerleri tarih bazlı olarak veri tabanında saklanıp, daha sonrası için bir birikim oluşturulabilir.

Teşekkür

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışmanım Doç. Dr. Yakup TURGUT'a, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Arş. Gör. Dr. Gültekin UZUN'a, deneysel çalışmalarında katkı sağlayan değerli Arş. Gör. Saltuk Alper YAŞAR'a, Arş. Gör. Bahattin YILMAZ'a, Arş. Gör. Duygu GÜRKAN'a, abim Tarık Vural ÜSTÜN'e ve maddi, manevi her zaman beni destekleyen aileme teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Tönshoff, H. K., Spintig, W., König, W., & Neises, A. 1994. Machining of Holes Developments in Drilling Technology. *Cirp Annals*, 43(2), 551-561.
- [2] Yağmur, S. 2011. Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Deneysel Olarak İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [3] Çiftçi, İ. ve Gökçe, H. 2018. Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Delinmesinde Delme Yönteminin Aşınmaya Etkisinin İncelenmesi. *J. Polytech*, vol. 0900, 0-2.
- [4] Kalpakjian, S. and Schmid, S. R. 2009. Prentice Hall. 8th Edition. Manufacturing Engineering and Technology.
- [5] Bayraktar, Ş., Sıyambaş, Y., & Turgut, Y. 2017. Delik Delme Prosesi: Bir Araştırma. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2). <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.296833>
- [6] Yagmur, S., Acir, A., Seker, U., & Gunay, M. 2013. An experimental investigation of effect of cutting parameters on cutting zone temperature in drilling. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(1), 1-6.
- [7] Aized, T., & Amjad, M. 2013. Quality Improvement of Deep-Hole Drilling Process of AISI D2. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(9-12), 2493-2503. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5178-4>
- [8] Bıçakçı, N. 2015. Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Delinebilirliğinin Araştırılması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
- [9] Sharif, S., & Rahim, E. A. 2007. Performance of Coated-and Uncoated-Carbide Tools When Drilling Titanium Alloy—Ti-6Al4V. *Journal of materials processing technology*, 185(1-3), 72-76.
- [10] Shetty, P. K., Shetty, R., Shetty, D., Rehaman, N. F., & Jose, T. K. 2014. Machinability Study on Dry Drilling of Titanium Alloy Ti-6Al-4V Using L9 Orthogonal Array. *Procedia Materials Science*, 5, 2605-2614.
- [11] Aydın, E. 2019. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit (CFRP) ile Alüminyum Alaşımının (Al 7075) İstiflenmiş Halde Delinebilirlik Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- [12] Arslan, H. 2018. 4. Baskı. CNC Operatörünün El Kitabı.
- [13] Gülesin, M., Güllü, A., Avcı, Ö., & Akdoğan, G. 2010. CNC Torna ve Freze Tezgahlarının Programlanması. Asil Yayın Dağıtım.
- [14] Bıçakçı, F. 2006. Sanayi İşletmelerinde Faaliyet Tabanlı Maliyet Sistemine Geçiş Çabaları ve Bir Uygulama. Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
- [15] Ben Meftah, M., Baili, M., Gassara, B., Dessein, G., & Bouzid Saï, W. 2019. Pre-hole Diameter Optimization in High Speed Drilling Considering Machining Cost. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(9-12), 3323-3336. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03689-z>
- [16] Pamukoğlu, U., & Göloğlu, C. 2011. Delik İşlemleri İçin Maliyet Merkezli Bir Sistem. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 31-39.
- [17] Makine Takım Endüstrisi A.Ş. 2019. <https://www.makinatakim.com.tr/hss-din-338-silindirik-sapli-kisa-matkap-ucu-haddeli> (Erişim Tarihi: 21.01.2020).
- [18] Meral, G., Dilipak, H., & Sarıkaya, M. 2011. AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Çoklu Regresyon Metoduyla Modellenmesi. *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4): 332-338.
- [19] AFB Metal. <https://afbmatal.com/steel-genel-celik/1050-imalat-celik-c50-islak> (Erişim Tarihi: 20.01.2020).
- [20] Makine Takım Endüstrisi A.Ş. HSS Kataloğu. 2019.

- [21] Smid, P. 2003. CNC Programming Handbook: A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming. Industrial Press Inc..
- [22] Makine Teknolojisi CNC Freze Çevrimleri. 2015. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı.
- [23] Akkurt, M. 2004. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları. Birsan Yayınevi.
- [24] Üstün, T. 2019. Delik Delmede Farklı Delme Uygulamalarının Takım Performansı ve İşleme Ekonomisi Açısından Karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Life Cycle Assessment of the Neutralization Process in a Textile WWTP

Fatma Şener Fidan^{ID}*1, Emel Kızılkaya Aydoğan^{ID}1, Niğmet Uzal^{ID}2

*1 Erciyes University Engineering Faculty Department of Industrial Engineering, KAYSERİ

2 Abdullah Gul University, Engineering Faculty Department of Civil Engineering, KAYSERİ

(Alınış / Received: 29.01.2020, Kabul / Accepted: 05.12.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

Keywords

Life Cycle Assessment,
Neutralization,
Sustainability,
Textile Industry,
Wastewater treatment,

Abstract: Although industrial wastewater treatment plants (WWTP) have become an important part of textile facilities in reducing environmental pollution problems, they also produce sludge and various emissions such as high chemical oxygen demand, color and conductivity which have serious negative impacts on the environment. One of the processes with enormous chemical consumption in industrial WWTP of textile facilities is the neutralization process, which aims to adjust the pH of the wastewater. Neutralization processes needed to be optimized in order to determine its overall environmental impacts and then identify the most environmentally appropriate options. The aim of this study is to compare the environmental impacts of carbon dioxide and sulfuric acid, which are two alternative chemicals used in the neutralization process of textile facilities, using Life Cycle Assessment (LCA) approach. The environmental impacts resulting from the use of these two chemicals proposed according to the Reference document on Best Available Techniques (BREF) Document for Textile Industry were revealed by the CML-IA method and the gate-to-gate method. According to the results, using carbon dioxide instead of sulfuric acid, the best improvement was in the abiotic depletion category with 92%, while the least improvement was in the eutrophication potential with 39%. No improvement was observed in the global warming potential and human toxicity impacts.

Tekstil Atıksu Arıtma Tesisinde Nötralizasyon Prosesinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Anahtar Kelimeler

Yaşam döngü analizi,
Nötralizasyon,
Sürdürülebilirlik,
Tekstil endüstrisi,
Atık su arıtma,

Öz: Endüstriyel atık su arıtma tesisleri, çevre kirliliği sorunlarının azaltılmasında tekstil tesislerinin önemli bir parçası haline gelmesine rağmen, çevreye ciddi olumsuz etkileri olan çamur ve yüksek kimyasal oksijen talebi (COD), renk ve iletkenlik gibi çeşitli emisyonlar da üretirler. Tekstil tesislerinin endüstriyel atık su arıtma tesislerinde muazzam kimyasal tüketimi olan süreçlerden biri de atık suyun pH'ını ayarlamayı amaçlayan nötralizasyon işlemidir. Bu durumda, genel çevresel etkilerini ortaya koymak ve ardından çevreye en uygun seçenekleri belirlemek için nötralizasyon sürecinin optimize edilmesi gerekiyordu. Bu çalışmanın amacı, tekstil tesislerinin nötralizasyon sürecinde kullanılan iki alternatif kimyasal olan karbondioksit ve sülfürik asidin çevresel etkilerini Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDA) yaklaşımı ile karşılaştırmaktır. Atık Arıtımı için Mevcut En İyi Teknikler Referansı (BREF) Belgesine göre önerilen bu iki kimyasalın kullanımından kaynaklanan çevresel etkiler, CML-IA metodu ve kapıdan kapıya yöntemiyle ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, sülfürik asit yerine karbondioksit kullanıldığında en iyi gelişme %92 ile abiyotik tükenme kategorisinde olurken, en az gelişme %39 ile ötrofikasyon potansiyelinde oldu. Küresel ısınma potansiyeli ve insan toksisite etkilerinde herhangi bir gelişme gözlenmemiştir.

*İlgili Yazar, email: fatma.senerfidan@agu.edu.tr

1. Introduction

The textile industry is one of the sectors that uses the most water, with approximately 200 liters of water to produce 1 kg of textile products [1]. Water used in wet processes such as brushing, desizing, mercerizing, bleaching, dyeing, and finishing turns into wastewater (WW) containing large amounts of pollutants that are very harmful to the

environment [2, 3]. The worldwide United Nations Environment Program is estimated that the industry is responsible for dumping 300-500 million tons of heavy metals, solvents, toxic sludge and other waste into water each year [4]. Textile WW is considered to be the dirtiest of all industrial sectors due to both the volume produced and the composition of the chemicals [5]. WWs discharged from textile WWTP includes dyes, metals, salts and other pollutants. Therefore, it has high in color, pH, salt, fats, oil, phosphorus, temperature, suspended solids, chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD) and metals [6-9]. This leads to rapid depletion of oxygen due to the high dissolved BOD value and contaminated surface waters and contaminated aquifers, i.e. water-containing soil or rock layers [10]. WW with high BOD and COD values are highly toxic to biological life. In addition, since most of the dyes and chemicals used in the textile industry are synthetic, they cannot be easily biodegradable [11, 12]. Moreover, low pH in WW causes corrosion of the water transport system and dissolution of metal in water, while high pH water causes scaling in sewage systems. Also, large pH fluctuations are detrimental to the flora and fauna of the receiving bodies [13].

As it is stated above, WWTPs are necessary for the textile industry process with high chemical pollution load to comply with the discharge limits determined by law [14] by reducing their environmental impact. There are mainly three type treatments of textile industry WW: biological treatment, chemical treatment and combinations of these two [15]. These WWTPs include various processes to adjust the characterization of textile WW to discharge. Neutralization is a chemical process by which the pH of the incoming raw WW is adjusted to the neutral pH level by the addition of chemicals so as to make it biologically treatable in the further treatment process [16]. Neutralization is a necessity, especially in industrial treatment systems with biological treatment steps. For most natural water it is in the range of 6.5 to 8.5 pH levels, and this neutral pH is essential for the survival of aquatic organisms [17]. Therefore, WWTP uses a neutralization process to ensure that pH values are within an acceptable range before discharging the WW. Textile WW can be acidic or alkaline depending on the content of the processes. Therefore, the chemicals to be used for neutralization vary according to the characterization of the WW. Chemicals such as Caustic (NaOH) and Calcium Hydroxide (CaOH₂) can be used for acidic WW, while chemicals such as Sulfuric Acid (H₂SO₄) and Carbon Dioxide (CO₂) can be used for alkaline WWs [18]. The most known and used chemical for neutralization of alkali textile WWs are sulfuric acid or carbon dioxide and also mentioned in the BREF document for Textile Industry [16]. The European Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Bureau produces sectoral Best Available Technic reference documents called BREFs to identify best practices and explain techniques. These produced reference documents ensure that the control of emissions is carried out in a consistent manner. Sulfuric acid is strongest, cheapest and most common chemical choice for neutralization process in generally. However, sulfuric acid is defined corrosive for human and dangerous for the environment [19]. Sulfuric acid has a risk for the environment and human beings. Carbon dioxide, which is in liquid form under pressure with negative temperatures, is used in a closed system in the neutralization process. Carbon dioxide is a good alternative to sulfuric acid due to the amount required for the process and its environmental impacts.

Regardless of the chemical used in the neutralization process, it is one of the hazardous processes for the environment with the huge chemical consumption in the WWTP. Although the neutralization process has to be applied to comply with environmental standards, it also has an environmental impact. Therefore, the neutralization process and the chemical alternatives used in it should be evaluated in terms of their environmental impacts. LCA is one of the best methods to evaluation of potential environmental impacts of a product, service or process throughout its life cycle [20] according to ISO 14040 and ISO 14044 [21, 22]. Although LCA has been implemented in many disciplines since 1960, it has been used for the implementation of WW treatment in the 1990s. Since then, many studies were published on the LCA of WWTPs in the literature [23]. In the WWTP area, LCA has been applied to many different fields such as evaluation of conventional technologies and non-conventional technologies [24, 25], operation [26], construction [26], dismantling, water cycle [27, 28], energy use [29, 30] and characterization factor [31]. However, although there is such a huge literature, there is no study focusing on the neutralization process and chemicals used in this process. It is clear that LCA is a valuable tool to investigate environmentally sustainable WWT methods and to assess their environmental impact [32].

In this study, the environmental impacts of the neutralization process in an alkaline textile WWTP are investigated with the LCA approach. The substitution of sulfuric acid with carbon dioxide in the neutralization process was examined in terms of environmental impacts. To our knowledge, there is no study in the literature that examines the environmental impacts of chemicals used in the neutralization process with the LCA approach. Therefore, this study will provide both industry experts and researchers with a perspective for more sustainable chemical selection in neutralization proses from a sustainability point of view.

2. Materials and Methods

In this study, the environmental impacts of carbon dioxide and sulfuric acid, which are two alternative chemicals used in the neutralization process of textile facilities, were investigated using LCA approach. There are four phases for an

LCA study: goal and scope definition, life cycle inventory analysis (LCI), life cycle impact assessment (LCIA), and interpretation. The following stages were organized according to LCA phases.

2.1. Goal and Scope

The goal of this study was to evaluate the potential environmental impacts of carbon dioxide and sulfuric acid, which are two alternative chemicals used in the neutralization process of textile facilities using a life cycle approach. These two chemical alternatives have been proposed in the BREF document for Textile Industry [16] for the neutralization process and are widely used in WWTPs. In this study, the LCA methodology ISO 14040 and ISO 14044 [21, 22] were used to assess the environmental impact of two different methods for the neutralization chemicals, which is the sub-process of biological WWTPs. This work was carried out in a denim textile factory using cotton as the main raw material. It has own biological treatment plant with annually 700.000 m³ capacity and discharges its WW to the municipality sewage system after treatment. The neutralization process has the same capacity as WWTP since all the WWs need to be decreased to pH. Figure 1 shows the flowchart of the WWTP.

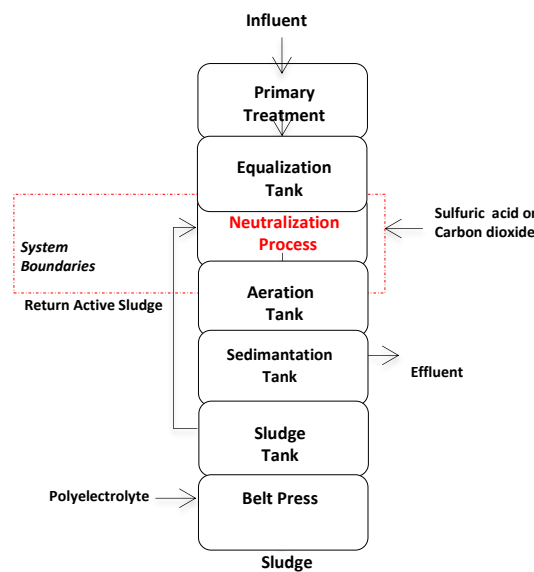


Figure 1. Flowchart of the WWTP.

The process mainly consists of primary, secondary, and tertiary treatment processes. In primary treatment floating and suspended solids are removed by mechanical devices. It includes screening, neutralization, equalization, coagulation, and sedimentation processes. Secondary treatment consists of involving the biological degradation of organic material by microorganisms under controlled conditions. In this process, biological oxidation of the organic material occurs under aerobic conditions in which the WW is aerated to supply oxygen for the micro-organisms. Biological WWTPs consist of a primary tank, neutralization tank, aeration tank, and sedimentation tank. However, since the scope of this study mainly focuses on the neutralization process, all remaining sub-processes were excluded because the remaining sub-processes and the electricity consumption in the neutralization process were the same for both chemical options. The functional unit was chosen 1 m³ influent and the system boundary was gate-to-gate.

2.2. Life Cycle Inventory

In this study, life cycle inventory (LCI) was prepared by using primary and secondary data. Process specific primary data for chemical consumptions were collected from a textile plant in Turkey for the year 2018. Secondary, LCI data were collected from the Ecoinvent V3.0 database [33]. Table 1 shows that all primary and secondary data used for LCI and chemical consumption values are given for 1 m³ of WW.

Table 1. Chemical consumption for neutralization of 1 m³ of WW

Chemicals	Sulfuric acid	Carbon dioxide
Consumptions	1.04 kg	0.44 kg

2.3. Life Cycle Impact Assessment

Comparison of two different neutralization chemicals with LCA was implemented using gate to gate approach with SimaPro 8.4. PhD version software [34]. The LCA was conducted according to ISO 14040 and ISO 14044 standards. The CML-IA was selected as the LCA life cycle assessment method and a total of 11 environmental impacts categories were evaluated [35]. These categories are abiotic depletion (ADP), global warming potential (GWP), ozone layer depletion (ODP), human toxicity potential (HTP), fresh aquatic ecotoxicity potential (FAETP), marine aquatic ecotoxicity potential (MAETP), terrestrial ecotoxicity potential (TETP), photochemical oxidation potential (PCOP), acidification potential (AP), and eutrophication potential (EP).

3. Results

In this study, the environmental impacts of two chemical alternatives in the neutralization process were compared with the LCA method. The results obtained for LCIA were given in Table 2.

Table 2. Chemical consumptions of two different neutralization process (1 m³ WW)

Impact category	Unit	Neutralization with sulfuric acid	Neutralization with carbon dioxide
ADP	kg Sb eq.	2.76E-05	2.09E-06
ADP-fossil fuels	MJ	6.32E+00	2.84E+00
GWP	kg CO ₂ eq.	1.71E-01	3.50E-01
ODP	kg CFC-11 eq.	4.12E-08	2.30E-08
HTP	kg 1,4-DB eq.	3.51E-01	5.25E-01
FAETP	kg 1,4-DB eq.	2.02E-01	1.04E-01
MAETP	kg 1,4-DB eq.	6.54E+02	3.32E+02
TETP	kg 1,4-DB eq.	9.52E-04	5.15E-04
PCOP	kg C ₂ H ₄ eq.	3.05E-04	6.77E-05
AP	kg SO ₂ eq.	7.59E-03	8.66E-04
EP	kg PO ₄ eq.	8.02E-04	4.86E-04

Thanks to the substitution of sulfuric acid with carbon dioxide, the highest improvement was achieved in the ADP category, with a 92% improvement from 2.76E-05 kg Sb eq. to 2.09E-06 kg Sb eq. The second and third categories with the greatest improvement were AP and PCOP, respectively, with improvements of 89% and 78%. AP of neutralization processes using carbon dioxide is decreased from 7.59E-03 kg SO₂ eq. to 8.66E-04 kg SO₂ eq. (Table 2). Also, 55% improvement was achieved in ADP (fossil fuels) category decreasing from 6.32E+00 to 2.84E+00. Similarly, 49% and 48% of improvements were observed in the FAETP and MAETP categories. TETP category decreased from 9.52E-04 to 5.15E-04, an improvement of 44%, which is still significant. The least improvements occurred in the ODP (44%) and EP (39%) categories, respectively. Figure 1 showed the normalized improvement percent for comparing two neutralization options with the CML-IA method. It is obviously seen that neutralization with carbon dioxide has lower environmental impacts than the sulphuric acid in most environmental impacts considered. The most improvement was obtained in the ADP, AP and PCOP categories, respectively.

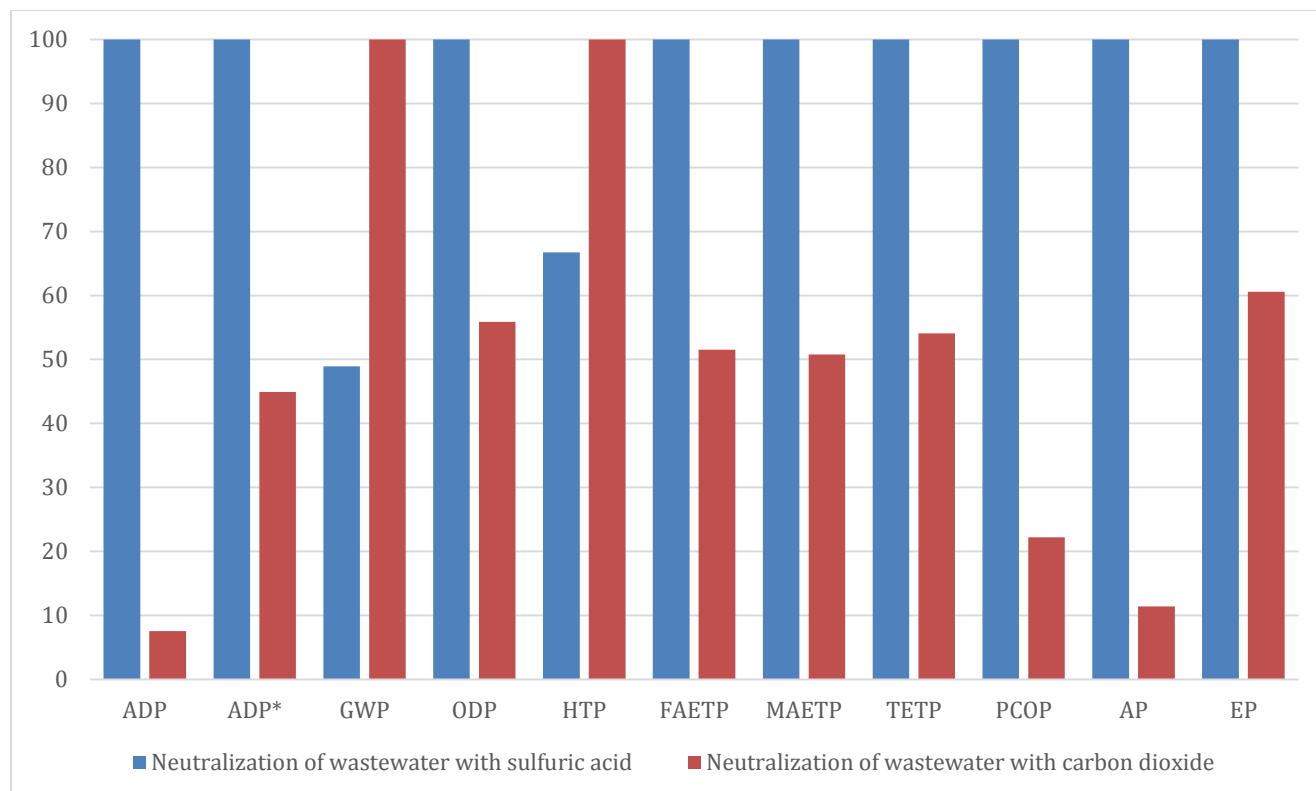


Figure 1. Result of LCIA for comparing two neutralization options with CML-IA method (*fossil fuels)

In contrary to the aforementioned environmental impact categories, the neutralization process with carbon dioxide has a deterioration of 104 % and 50 % in GWP and HTP categories, respectively. The GWP value for sulfuric acid is $1.71\text{E-}01$ kg CO₂ eq. In the literature, environmental impact of industrial sulfuric acid production system was evaluate using LCA [19]. The study found that for the functional unit of this study, sulfuric acid emitted $9.28\text{E-}02$ kg of CO₂ equivalent. The results of this study are similar to the results we obtained in this study. Eco-friendly green chemistry options to ensure sustainable development have become more popular among a number of alternatives in the literature. For example, green chemistry and engineering for wastewater treatment were examined and the use of supercritical carbon dioxide has emerged as an environmental friendly alternative to organic solvents and that the combination of ionic fluids, especially supercritical CO₂, is important [36]. In another study proposed a new and effective catalysis system by using in situ carbonic acid from carbon dioxide as a green acid in the presence of Chromium chloride [37]. According to the results, in situ carbonic acid can be used as a low-cost and less environmental impact acid to replace mineral acids such as sulfuric acid. According to IPCC (2013), carbon dioxide has 25 times less greenhouse effect than methane and 310 times less than nitrogen dioxide [38]. According to this study, carbon dioxide has a less environmental impact in many categories such as AP, EP etc. The results of this study were realized in parallel with the studies in the literature examining carbon dioxide from an environmental perspective. As a result, it is clear that the neutralization process with carbon dioxide yields better results in many environmental impacts and carbon dioxide is more sustainable as also suggested in the BREF document for Textile Industry published in 2018.

4. Discussion and Conclusion

The purpose of this study was to evaluate the potential environmental impacts of the two chemical alternatives applied in the neutralization process using the LCA in a WWTP of a textile factory in Turkey. With this approach, sulfuric acid is substituted carbon dioxide following the BREF document for Textile Industry [16], aiming to adjust pH in the neutralization process. CML-IA method is chosen for the assessment of environmental impacts.

The results showed that the neutralization process with carbon dioxide is better in nine of the eleven environmental impacts examined, while the neutralization process with sulfuric acid is better in the two environmental impact categories as GWP and HTP. Significant improvements in the range of 89-92% were achieved especially in ADP, PCOP, and EP impact categories. Thus, using carbon dioxide in the neutralization process will have important contributions in reducing the emission of phosphorus in water, depletion of non-living resources, and secondary air pollution. However, with the use of carbon dioxide in the process, GWP category value doubled. Similarly, there was a 50% increase in the HTP category. Since the most important environmental impact of the textile industry is water

pollution, the fact that carbon dioxide has a less environmental impact than sulfuric acid in the categories of ADP, ODP, FAETP, MAETP, TETP, PCOP, AP, and EP will reduce this pollution. Carbon dioxide, one of the two chemicals proposed to be used for neutralization in the BREF document for Textile Industry, is a more sustainable alternative to sulfuric acid for alkali WWs according to the LCA results.

The findings of this study will provide insight for scientists, policy-makers, and experts to improve the sustainability of WW treatment plants. These results showed that the neutralization process environmental impacts could be reduced by substitution of the chemicals with green alternatives according to LCIA methods. In further studies, LCA can be conducted including the whole process of WWTPs to have a holistic approach. Moreover, other chemicals used for alkali WW neutralization process can be added to the comparison.

References

- [1] Yaseen, D., Scholz, M. 2019. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. *International journal of environmental science and technology*. 16(2), 1193-1226.
- [2] Verma, A. K., Dash, R. R., Bhunia, P. 2012. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of environmental management*. 93(1), 154-168.
- [3] Yusuff, R., Sonibare, J. 2004. Characterization of textile industries' effluents in Kaduna, Nigeria and pollution implications. *Global Nest: International Journal*. 6(3), 212-221.
- [4] Nieminen-Kalliala, E. 2003. Environmental indicators of textile products for ISO (Type III) environmental product declaration. *AUTEX Research Journal*. 3(4), 206-218.
- [5] Choudhury, A. R. 2014. Environmental impacts of the textile industry and its assessment through life cycle assessment. pp. 1-39. Muthu, S. S., ed. 2014. *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, Springer Science Business Media, Singapore, 287p.
- [6] Sharma, K., Sharma, S., Sharma, S., Singh, P. K., Kumar, S., Grover, R., Sharma, P. K. 2007. A comparative study on characterization of textile wastewaters (untreated and treated) toxicity by chemical and biological tests. *Chemosphere*. 69(1), 48-54.
- [7] Sekomo, C. B., Rousseau, D. P., Saleh, S. A., Lens, P. N. 2012. Heavy metal removal in duckweed and algae ponds as a polishing step for textile wastewater treatment. *Ecological Engineering*. 44, 102-110.
- [8] Yaseen, D. A., Scholz, M. 2016. Shallow pond systems planted with *Lemna minor* treating azo dyes. *Ecological Engineering*. 94, 295-305.
- [9] Shah, M. P., Patel, K. A., Nair, S. S., Darji, A. 2013. Optimization of environmental parameters on microbial degradation of Reactive Black dye. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*. 4(3).
- [10] Landage, S. M. 2009. Removal of heavy metals from textile effluent. *Colourage*. 56(6), 51-56.
- [11] Khat, I., Jain, V. 1993. Effect of textile industry waste water on growth and some biochemical parameters of *Triticum aestivum*. Var. Raj. 3077, 57-60.
- [12] Karthik, T., Gopalakrishnan, D. 2013. Impact of textiles on environmental issues. Part-II. *Asian Dyer*. 45-51.
- [13] Shaikh, M. A., 2009. Environmental issues related with textile sector. *Pakistan Textile Journal*. 10, 36-40.
- [14] Mevzuat. 2018. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (access date: 30.10.2020).
- [15] Tüfekci, N., Sivri, N., Toroz, İ. 2007. Pollutants of textile industry wastewater and assessment of its discharge limits by water quality standards. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 7(2), 97-103.
- [16] European Commission. 2018. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Textile Industry. <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference> (access date: 30.10.2020).
- [17] Yakima County. 2020. BMP C252: High pH Neutralization using CO₂. <https://www.yakimacounty.us/DocumentCenter/View/2541/BMP-C252-High-pH-Neutralization-using-CO-2-PDF> (access date: 25.10.2020).
- [18] Wastech. 2020. Neutralization Chemicals. <https://wastechengineering.com/neutralization-chemicals> (Access date: 28.10.2020).
- [19] Marwa, M., Soumaya, A., Hajjaji, N., Jeday, M. R. 2017. An Environmental Life Cycle Assessment Of An Industrial System: Case Of Industrial Sulfuric Acid. *International Journal of Energy, Environment and Economics*. 25(4), 255-268.
- [20] Baumann, H., Tillman, A.M. 2004. The hitch hiker's guide to LCA. *Studentlitteratur AB, Sweden*, 544p.
- [21] ISO. 2006. 14040:2006 Environmental Management Life Cycle Assessment Principles and Framework.
- [22] ISO. 2006. 14044: 2006 Environmental Management Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines.

- [23] Raghuvanshi, S., Bhakar, V., Sowmya, C., Sangwan, K. 2017. Waste water treatment plant life cycle assessment: treatment process to reuse of water. *Procedia CIRP*. 61, 761-766.
- [24] Yildirim, M., Topkaya, B. 2012. Assessing Environmental Impacts of Wastewater Treatment Alternatives for Small-Scale Communities. *CLEAN–Soil, Air, Water*. 40(2), 171-178.
- [25] Venkatesh, G., Brattebø, H. 2011. Environmental impact analysis of chemicals and energy consumption in wastewater treatment plants: case study of Oslo, Norway. *Water Science and Technology*. 63(5), 1018-1031.
- [26] Tillman, A. M., Svingby, M., Lundström, H. 1998. Life cycle assessment of municipal waste water systems. *The international journal of life cycle assessment*. 3(3), 145-157.
- [27] Remy, C., Jekel, M. 2008. Sustainable wastewater management: life cycle assessment of conventional and source-separating urban sanitation systems. *Water Science and Technology*. 58(8), 1555-1562.
- [28] Pasqualino, J. C., Meneses, M., Castells, F. 2011. Life cycle assessment of urban wastewater reclamation and reuse alternatives. *Journal of Industrial Ecology*. 15(1), 49-63.
- [29] Li, Y., Luo, X., Huang, X., Wang, D., Zhang, W. 2013. Life Cycle Assessment of a municipal wastewater treatment plant: a case study in Suzhou, China. *Journal of cleaner production*. 57, 221-227.
- [30] Opher, T., Friedler, E. 2016. Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse. *Journal of environmental management*. 182, 464-476.
- [31] Alfonsín, C., Hospido, A., Omil, F., Moreira, M., Feijoo, G. 2014. PPCPs in wastewater–Update and calculation of characterization factors for their inclusion in LCA studies. *Journal of Cleaner Production*. 83, 245-255.
- [32] Guest, J. S., Skerlos, S. J., Barnard, J. L., Beck, M. B., Daigger, G. T., Hilger, H., Jackson, S. J., Karvazy, K., Kelly, L., Macpherson, L., Mihelcic, J. R., Pramanik, A., Raskin, L., Loosdrecht, M. C. M. V., Yeh, D., Love, N. G. 2009. A new planning and design paradigm to achieve sustainable resource recovery from wastewater," *Environmental Science & Technology*. 43 (16), 6126-6130.
- [33] Ecoinvent Centre. 2019. Database Ecoinvent Data v3.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. www.Eco-invent.org (Access date: 28.01.2019).
- [34] Pré Consultants. 2016. SimaPro Software. <https://network.simapro.com/esuserservices> (Access date: 28.01.2019).
- [35] Guinée, J. B. 2002. *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*. Springer Science & Business Media B.V., Netherlands, 692p.
- [36] Azimi, S. C., Pendashteh, A. 2016. Green Technologies for Wastewater Treatment. The Second International Conference in New Research on chemistry & chemical engineering. 10 September- 10 November, Dubai.
- [37] Jing, S., Cao, X., Zhong, L., Peng, X., Zhang, X., Wang, S., Sun, R. 2016. In situ carbonic acid from CO₂: a green acid for highly effective conversion of cellulose in the presence of Lewis acid. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 4(8), 4146-4155.
- [38] I. P. O. C. Change, "Adoption and acceptance of the "2013 supplement to the 2006 guidelines: wetlands".", Georgia, 2013.