



Institute of Pure and Applied Sciences

International Journal of Advances
in Engineering and Pure Sciences

MARMARA JEPS



In the name of Rectorate of Marmara University, *Rector*

Prof. Dr. Mustafa KURT

In the name of Directory of Institute of Pure and Applied Sciences, *Director*

Prof. Dr. Bülent EKİCİ

Editor-in-Chief

Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

Associate Editors

Prof. Dr. Bülent EKİCİ, Prof. Dr. Bülent AKKOYUNLU

Editorial Boards

Dr. Aris Quantana NEDELCOŞ,
Materials Science

Asst. Prof. Dr. Berçem KIRAN YILDIRIM,
Chemical Engineering

Asst. Prof. Dr. Beste TURANLI,
Bioengineering

Prof. Dr. İsmail USTA,
Textile Engineering

Prof. Dr. Kazım Yalçın ARĞA,
Bioengineering, Bioinformatics

Prof. Dr. Kozet BAKIRCI,
Environmental Engineering, Occupational Health
and Safety

Asst. Prof. Dr. Merve ER,
Industrial Engineering

Dr. Mohammad ALSUNAIDI,
Electrical and Electronics Engineering

Prof. Dr. Mustafa ATMACA,
Mechanical Engineering-Energy

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÖZDEMİR,
Mechanical Engineering- System Dynamics and Mechanics

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Taylan ŞENGÜL,
Mathematics

Assoc. Prof. Dr. Ömer KORÇAK,
Computer Science and Engineering

Assoc. Prof. Dr. Pınar ÇAĞLAYAN,
Biology

Asst. Prof. Dr. Rosa Maria FLORES,
Environmental Engineering

Dr. Sergey V. DOROZHKIN,
Bio-Materials (Ceramics)

Prof. Dr. Uğur YAŞI,
Physics

Prof. Dr. Yahya BOZKURT,
Material Sciences

Assoc. Prof. Dr. Yeşim GÜRTUĞ,
Architectural and Civil Engineering

Publishing Editor

Dr. S. Enes HACİBEKTAŞOĞLU

Correspondance and Communication

Hayriye KORKMAZ

Electrical and Electronics Engineering,
Faculty of Technology, T4-211
Maltepe /İSTANBUL

Tel: +90 216 777 3830
hkorkmaz@marmara.edu.tr

Publisher

Marmara University Press
Göztepe Kampusu 34722
Kadıkoy/İSTANBUL

Tel: +90 216 777 1408
yayinevi@marmara.edu.tr

Marmara Üniversitesi Rektörlüğü adına, *Rektör*
Prof. Dr. Mustafa KURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü adına, *Müdür*
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

Editör
Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

Yardımcı Editörler
Prof. Dr. Bülent EKİCİ, Prof. Dr. Bülent AKKOYUNLU

Editörler Kurulu

Dr. Aris Quantana NEDELCOŞ,
Malzeme Bilimleri

Dr. Öğretim Üyesi Berçem KIRAN YILDIRIM,
Kimya Mühendisliği

Dr. Öğretim Üyesi Beste TURANLI,
Biyomühendislik

Prof. Dr. İsmail USTA,
Tekstil Mühendisliği

Prof. Dr. Kazım Yalçın ARĞA,
Biyomühendislik, Biyoinformatik

Prof. Dr. Kozet BAKIRCI,
Çevre Mühendisliği

Dr. Öğretim Üyesi Merve ER,
Endüstri Mühendisliği

Dr. Mohammad ALSUNAIDI,
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Prof. Dr. Mustafa ATMACA,
Makine Mühendisliği- Enerji

Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR,
Makine Mühendisliği- Sistem Dinamiği ve Mekanik

Doç. Dr. Mustafa Taylan ŞENGÜL,
Matematik

Doç. Dr. Ömer KORÇAK,
Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği

Doç. Dr. Pınar ÇAĞLAYAN,
Biyoloji

Dr. Öğretim Üyesi Rosa Maria FLORES,
Çevre Mühendisliği

Dr. Sergey V. DOROZHKIN,
Biyomalzemeler (Seramikler)

Prof. Dr. Uğur YAŞI,
Fizik

Prof. Dr. Yahya BOZKURT,
Malzeme Bilimleri

Doç. Dr. Yeşim GÜRTUĞ,
Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği

Yayın Editörü

Dr. S. Enes HACİBEKTAŞOĞLU

Yazışmalar ve İletişim

Hayriye KORKMAZ
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği,
Teknoloji Fakültesi, T4-211
Maltepe /İSTANBUL
Tel: +90 216 777 3830
hkorkmaz@marmara.edu.tr

Yayıncı

Marmara Üniversitesi Yayınevi
Göztepe Kampusu 34722
Kadıkoy/İSTANBUL
Tel: +90 216 777 1408
yayinevi@marmara.edu.tr

İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

Araştırma Makaleleri/ Research Articles

1. Development of New Die Design in Towing Hook Production
Ebru SAĞ, Burak BAHAT, Dilara YALÇIN, Hakan AYDIN
Sayfa/Page: 350-355
2. Latin Kare Tasarımı ile Farklı Sektörlerdeki İş Kazalarının Analizi
Fatma ÇİÇEK, Aytaç ATA, Bikem ÖVEZ
Sayfa/Page: 356-372
3. Tannik Asit ile Güçlendirilmiş Poli(Vinil Alkol) Hidrojel Filmlerin Sentezi ve Karakterizasyonu
Celile DEMİRBILEK BUCAK, Merve OLUKMAN ŞAHİN
Sayfa/ Page: 373-381
4. FDY İplikler Kullanılarak Üretilen Tekstil Yüzeylerinin Akustik Performanslarının İncelenmesi
Beyzanur ERDAL, Erhan SANCAK
Sayfa/ Page: 382-392
5. İşte Var Olmama (Presenteeism) ve İş Tatmini İlişkisinde Örgütsel Sinizmin Aracılık Rolü ve Yaş Faktörü
Turabi KARADAĞ
Sayfa/ Page: 393-402
6. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bir Risk Analizi Uygulaması
Süleyman Enes HACIBEKTAŞOĞLU, Bülent MERTOĞLU, Hakan TOZAN
Sayfa/ Page: 403-414
7. Demand Forecasting with Integration of Time Series and Regression Models in Pharmaceutical Industry
Salih İMECE, Ömer Faruk BEYCA
Sayfa/ Page: 415-425
8. Fructose Consumption Causes Cell Death Through ER Stress in Pancreas and Changes Biochemical Parameters in Blood
Zeynep Mine COŞKUN, Melike ERSÖZ, Zehra Yaren DÖNMEZ, Nur Esmâ DEMİR, Berin Sena ARSLAN, Sema GUBUR, Aynur ACAR
Sayfa/Page: 426-433
9. Şanlıurfa İlindeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Farkındalık Seviyesinin ve Geçiş Sürecindeki Önceliklerinin Belirlenmesi
Gencay SARIİŞİK, Sercan DEMİR, Ahmet Sabri ÖĞÜTLÜ
Sayfa/Page: 434-444

İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

Araştırma Makaleleri/ Research Articles

10. Akaryakıt İstasyonları Özelinde Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik'in Aşamaları ve Uygulamaları

Orhan GÖKYAY, Gökberk KARA

Sayfa/Page : 445-460

11. Türkiye'de 2017-2020 Yılları Arasında Yaşanan İş Kazaları ve Yaralanma Olaylarının İllere Göre Değerlendirilmesi

Tufan ÖZTÜRK

Sayfa/Page : 461-471

12. Comparison of Different Cooling Systems in Plastic Injection Molding

Oğuz GİRİT

Sayfa/Page : 472-478

Development of New Die Design in Towing Hook Production

Çeki Demiri Üretiminde Yeni Kalıp Tasarımı Geliştirilmesi

Ebru SAĞ¹ , Burak BAHAT¹ , Dilara YALÇIN¹ , Hakan AYDIN¹ 

¹*Birinci Automotive R&D Center, Çayırova/KOCAELİ*

Abstract

In this study, a new design has been developed for towing hook dies used in hot forging processes. For this objective, analysis studies were carried out with different process parameters and methods for new designs in dies for both hot forging process and product. After the analysis, the die designs were determined that produced the prototype products at the optimum speed, efficiency and quality. While designing a special die for hot forging operation, a new die design has been developed in which both processes can be performed using a single die with two stages, pre-shape and final shape. Compared to the dies studied for hook groups in the literature and our old dies currently being worked, it is aimed to eliminate the errors caused by the inability to calibrate the final shape such as early wear, short die life, burr residue formation. Such a technics specific to the part as specific to the towing hook was performed for the first time, and with the die design developed by comparing the results of analysis studies, field trials and prototype studies in the Q-Form simulation program, the production of towing hook at optimum efficiency was achieved.

Keywords: Towing hook, Hot Forging, Die Design, Q FORM, Wear

Öz

Bu çalışmada sıcak dövme işlemlerinde kullanılan çeki demiri kalıplarına yeni bir tasarım geliştirilmiştir. Bu amaçla hem sıcak dövme prosesine hem de ürüne dair kalıplardaki yeni tasarımlar için, farklı proses parametreleri ve yöntemlerle analiz çalışmaları yapılmıştır. Analizler sonrasında prototip imalatları yapılmış en optimum hızda, verimlilikte ve kalitede ürün sonucu veren kalıp dizaynları belirlenmiştir. Sıcak dövme operasyonuna özel kalıp tasarımı yapılırken ön şekil-son şekil olmak üzere iki aşamalı tek bir kalıp kullanılarak iki işlemin de gerçekleştirilebildiği yeni bir kalıp dizaynı geliştirilmiştir. Literatürde kanca grupları için çalışılan kalıplara ve mevcutta çalışılan eski kalıplarımıza kıyasla erken aşınma, kısa kalıp ömrü, sakal oluşumu gibi son şeklin kalibre edilememesinden doğan hataların giderilmesi amaçlanmıştır. Çeki demiri özelinde parçaya özel böyle bir uygulama ilk defa yapılmış, Q-Form simülasyon programında analiz çalışmaları, saha denemeleri ve prototip çalışmaları sonuçları kıyaslanarak geliştirilen kalıp dizaynıyla optimum verimde çeki demiri üretimi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çeki Demiri, Sıcak Dövme, Kalıp Dizaynı, Q FORM, Aşınma

I. INTRODUCTION

The tow hook is hidden under the rear bumper of the vehicles or visible in some off-road vehicles, offered as an option in new vehicles, at the rear of the vehicle; It is a metal part used for towing non-motorized vehicles such as caravans, boats or trailers. The principle of use of this part, as the name suggests, is the connection point used for towing the wheeled non-motorized (or motorized) vehicles that are desired to be towed. Although the drawbars, which are used to move open or closed cargo trailers and caravans that can carry various loads, and therefore to increase the carrying capacity of the passenger vehicle, are produced in different structures depending on the purpose of use in the world, but generally simpler and easier to produce are preferred in Turkey. Since different structures are required for tow hooks depending on the condition of the chassis or the lower part of the monocoque body and the spare wheel, production is made according to the vehicle model [1,2]. When the studies in the literature related to the subject are examined: carried out a study on the design improvements of the connection brackets, in which the suspension elements are mounted on the body, especially in the chassis areas of commercial vehicles [3]. In the proposed bracket designs; The gist is to reduce the weight and increase the strength of the parts. While making suggestions for design improvements; The changes that can be made in the geometric, topological and dimensional properties of the parts are emphasized. Studied the design improvement of the upper wishbone of a vehicle's front suspension system. After starting their research by performing the finite element analysis of the existing structure, they put forward various design suggestions and calculated the obtained recovery rates [3]. At first, static analyzes were carried out for the existing structure with 5 different loading conditions created by the ADAMS program. As a result of the analysis, weak areas in the structure were determined and unimportant areas were determined in terms of stresses where excess material could be removed.

With the design proposal they deem appropriate, they reduced the weight of the upper swing arm by 15%, while reducing the maximum stress value on the structure by 29%. Made new proposals on the design improvement of a motor bracket and supported these proposals with finite element analysis. The current design of the bracket they will be working on has received poor results from testing and analysis [4]. For this, they proposed design changes. With the design change they proposed, they reduced the weight of the part by 12% and increased the structural strength of the part by 50%. [5,6]. In this study; A new design has been developed for the towing hook dies used in hot forging processes by using the Solid Works 3D design program. For this purpose, analysis studies were carried out in Q-Form Forging Simulation Program with different process parameters and methods for new designs in die related to both the hot forging process and the product. After the analyses, the prototypes were manufactured and the die designs that gave the product result at the optimum speed, efficiency and quality were determined. While designing a special die for the hot forging operation, a new die design has been developed in which both processes can be performed by using a single die with two stages, the preform-final shape. Finally, prototype studies were carried out with the new design, and analysis studies with experimental results were confirmed by characterization studies.

II. MATERIALS AND METHODS

In this study, the whole process is handled in order to be able to manufacture with a much shorter operation time and therefore a higher number of units/hours compared to the existing ones in mass production. For this purpose, all innovative die designs that can be applied for tow hooks have been evaluated, considering the qualities of the existing production benches. The tow hook image is given in Figure 1. The operability of the dies designed using the Q-Form simulation program was tested according to the different process conditions that were predicted to be suitable as a result of the researches. In the experimental applications of the study, the designs verified in the simulation program and the process conditions were compared with the prototype studies and characterization studies were carried out.



Figure 1. Towing hook

The study was generally carried out in two stages. In the first stage; new design studies, analyzes and process optimizations were made, and in the second

stage; Experimental studies and prototype studies were carried out, testing and characterization studies were carried out. In Figure 2, the visual of the towing hooks produced as prototypes is given.



Figure 2. Prototype production towing hook

Value Stream Map (VSM) was prepared for the towing hook, which is the subject of the study, and when this VSM prepared was analyzed for process optimization, the need for increased productivity in forging and burr operations was determined. Studies have been carried out for alternative scenarios over alternative settlement geometries, which are predicted to be suitable in the VSM analysis. For towing hooks, activities that will increase efficiency focused on forging and burr operations in the production process, and then settlements were evaluated. Especially, alternative production parameters were tried and at the same time, alternative new designs of process dies were started. A new die design has been made instead of single forging dies used in forging operations, literature and general applications. This new design developed within the scope of the study; It is a two-stage die design as preform-final shape. Analysis results are given in Figure 3 for the work carried out before the final design.

Premature wear in the forging eyes of the dies, skull formation in burr cutting operations are common problems in the use of single forging dies. In order to remove the skull formations encountered during production, sanding operation should be added to the process. Operations such as extra sanding added while reaching the final product require extra labor and energy and increase the cost per unit. In the study; The analysis of the double forging die design as the preform-final shape was made. In these analyzes, it has been determined that the pre-shape die is worn, the skull formation is prevented by calibrating the part in the final shape die and the life of the final shape die is extended. Solid Works design program was used for the draft and final designs, then the designed dies were analyzed in the Q-Form Forging Simulation Program. An example screenshot from the analysis studies is given in Figure 4. The analysis results were interpreted and the most suitable die design for mass production was decided. The raw material sections to be used during the design studies were also determined. The die designs made were tried on the production line, and after these trials, the bench to be used in the prototype studies for the appropriate die design was selected according to the process requirements by testing the required forging forces.

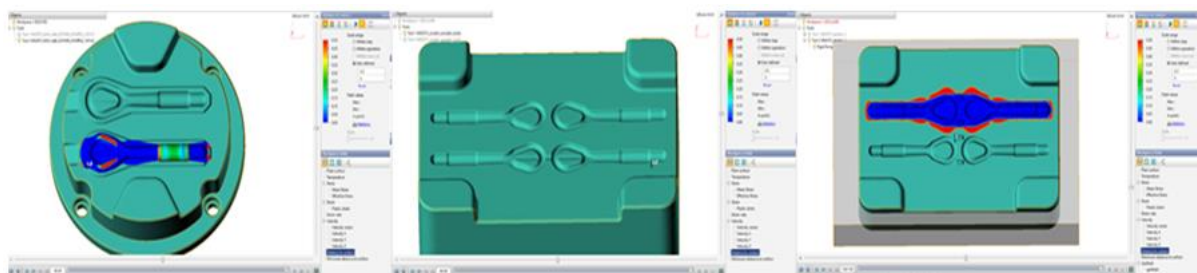


Figure 3. Different die designs [a]single die design b) first double die design c) new die design]

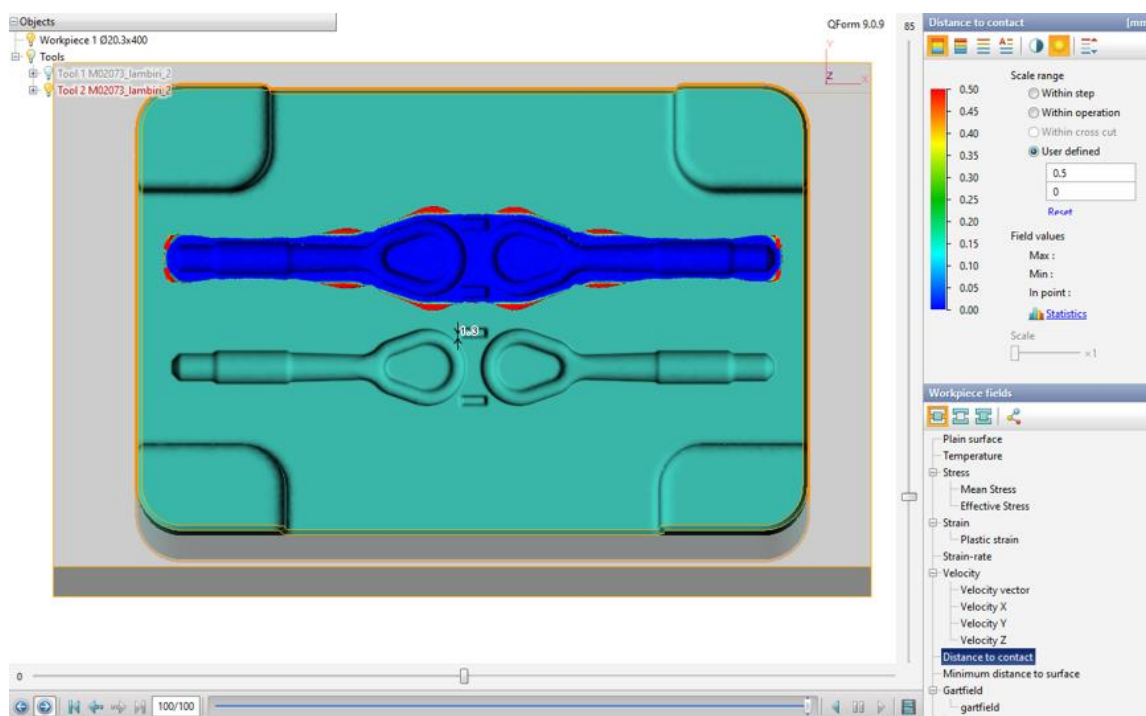


Figure 4. Q-Form analysis studies for new design

Forging dies and hot burr dies were designed for the designs that were decided to manufacture prototypes. Another important issue in the study is the start-up activities of the hot deburring operation. In the literature and general applications, cold deburring is preferred in the production process flows of the towing hook. In our study, hot deburring was included in the process instead of cold deburring in order to increase the process efficiency. Figure 5 shows the image taken during the prototype forging trials.



Figure 5. Forging trials

application is that the sandblasting operation applied to the cooling parts after forging is eliminated if hot deburring is done. However, the disadvantages of hot deburring operations; It is not an easy-to-apply process, difficulties are encountered during the application in mass production, burr protrusions remain on the burr line on the part when the part cools, and the part shrinks more than expected. In Figure 6, the image of the prototype forging parts produced within the scope of the study without burr operation is shown.



Figure 6. Prototype forging part

The hot burr die is designed according to the burr geometry that will come out after the forging operation. One of the biggest advantages of this

Within the scope of this study, many design and analysis studies have been carried out, and the production process of towing hook has been handled

as a whole, and process efficiency has been improved with the principle of maximum number of minimum hours in optimum conditions that can be adapted to mass production. The sanding operation was also eliminated through to the skull formation, which will be prevented from commissioning the new hot burr mold designed in this study. Thus, through to these improvement and development activities in operations, two operations (sandblasting and sanding) in the flow of general applications have been eliminated. Characterization studies were carried out for the products obtained at the end of the prototype studies. Within the scope of characterization studies; tensile, hardness tests and microstructure analyze were carried out.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, an innovative die was designed for the towing hook made of 41Cr4 steel to increase production efficiency and extend the life of the die. Forging forming processes were analyzed through the finite element analysis method, and the behavior of the material and the die during production was examined. The forging process was carried out in line with the parameters determined by the design, analysis and simulations. Within the scope of the study, each step of the towing hook forging process is planned. Simulation studies have been performed for the new die design in Q-Form, which is working with the finite element analysis principle [7,8]. Characterization studies were carried out, tensile and hardness tests were carried out. Table 1 and figure 7 give values and graphs for yield tests.

Table 1. Yield test values

Name	Max Stress	Initial Diameter	Initial Length
Pass/Fail	1050, 1200		
Units	N/mm ²	mm	mm
M02073-247-1	1194.66	12.000	60.000
M02073-247-2	1111.65	12.000	60.000

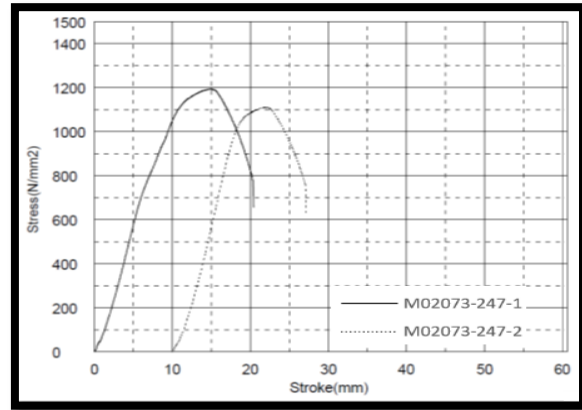


Figure 7. Yield test graph

Within the scope of the study, microstructure examination was carried out. Microstructure analysis images are given in Figures 8. The surface characteristics of prototypes produced with new die design based on micro structure analysis results remain within EN 10083-1 e standards. There are no formations in the micro structure that will play a negative role in mechanical properties [9,11].

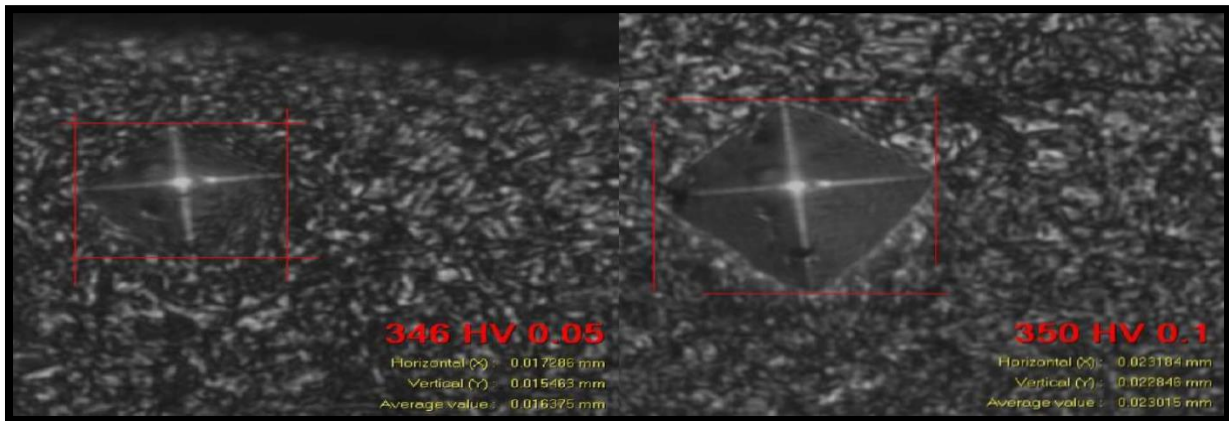


Figure 8. Microstructure and Hardness 346 HV0.05 @ 0.02 mm & 350 HV0.1 @ 0.03 mm below the surface (500x)

Modified design based on the thickness of the burr in the die and forged simulations with Q-form. The design based on the different burr thicknesses results in an optimal burr thickness of 1.3 [9,10]. The design with a burr thickness of 1 mm is called A. The design with a burr thickness of 1.3 mm is called B. The design with a burr thickness of 1.5 mm is called C. The analysis images for these designs are also given in Figure 9.

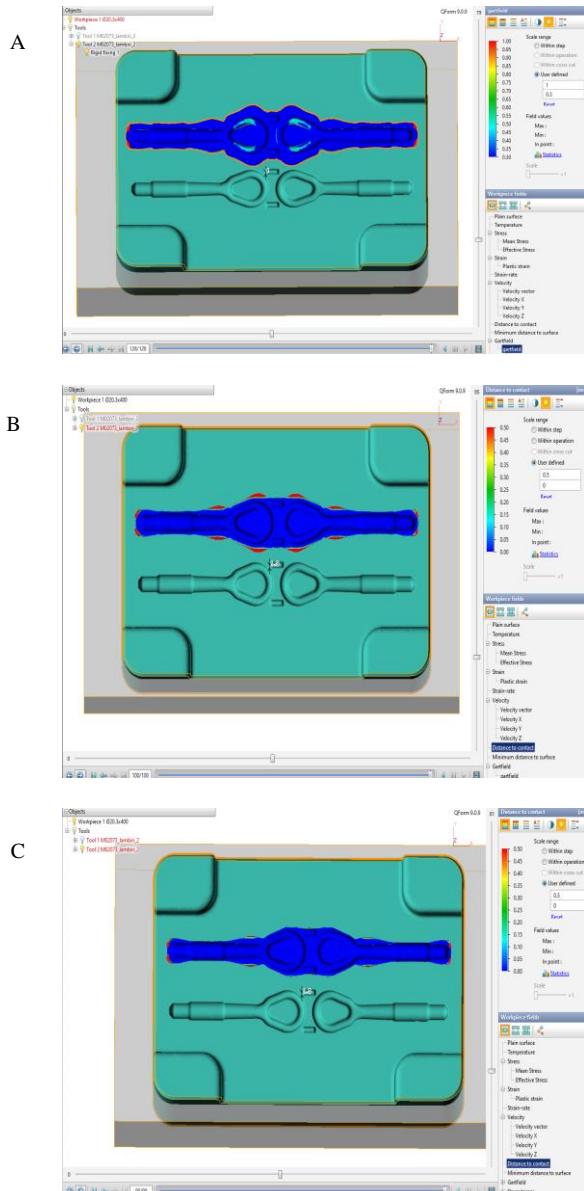


Figure 9. Burr thickness analysis for new die design

Die design optimization has started in the risk assessment phase after the burr thickness in relation to the desired product. The Q-Form analysis program for die design of the relevant product is looking at the risks for surface flow analysis such as; not filling, plication, scale formation etc. [9]. The analysis works performed in Figure 10 are given. Analysis with a burr thickness of 1, 1.3, 1.5 respectively is called A, B, C.

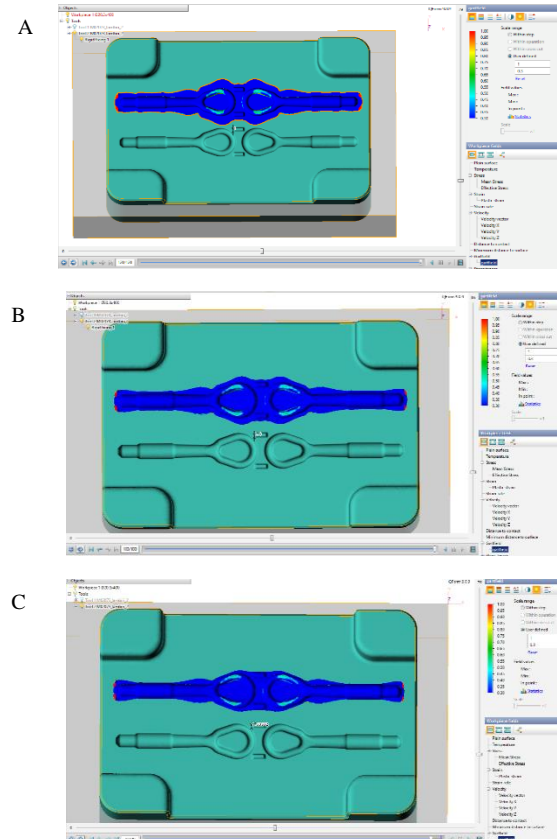


Figure 10. Surface flow analysis

Analysis has been performed to determine the press capacities and determine the tonnage values for the product to be manufactured. The design that correspond to the required press capacity and has a homogeneous burr line has been finalized after these analyzes. Different analyzes were carried out with these parameters to produce the optimal die in the hot forging operation, which varies depending on die stress, material strength, die material selection, raw material flow rate, die temperature, lubricant used and operating temperature. In this study, the design was revised as a result of the above-mentioned analyzes and different die designs were studied. Prototype studies were made with our new double forging die and the required efficiency was achieved.

IV. CONCLUSION

The achievements obtained as a result of this study are given below:

- In the analyzes made during the new die design, the non-filling part was primarily studied. After the analysis, 1.3 burr thickness was determined as the optimum value according to 1 and 1.5. In 1, the desired part could not be obtained, and the problem of not filling in the die was observed. In 1.5 compared to 1.3, the forging press increased due to the presence of more burrs, which is expected to shorten the life of the die and cause it to fracture in the long run.

- As a result of the risk assessments for the new die design, when the surface flow analyzes are compared, it has been determined that the design with a burr thickness of 1.3 mm is the most suitable design. Analyzing burr thicknesses 1 and 1.5, it is seen that they have surface flows that will cause undesirable part defects such as layering, non-filling, folding, etc. In addition, it has been observed that the new design, which prevents errors such as skull formation, layering, and non-filling, with a smaller diameter and less load in the die, increases the die life and part quality when compared to a single forging die.
- In the analysis phase of the new design, the analyzes were completed in order to determine the process values such as press power, raw material diameter, die temperature, raw material temperature, which were determined when the tonnage values were analyzed for the prototype production after the surface flow. Production conditions and analyzes were compared during production and it was observed that the obtained part had the desired microstructure and hardness values. When the parts made with a single forging die are compared with the parts obtained as a result of the new die design, it has been seen as a result of quantitative and qualitative analyzes that they meet the EN 10083-1 standard and the desired qualitative features. With the new die design, more efficient and longer die life parts can be produced.
- The quality problem caused by skull formation, which occurs in the production of towing hook, has been prevented by a new design study.
- With the changes made in the design, the weight of the raw material used has been reduced and raw material savings have been achieved. In the pre-work situation, while 1 piece was produced in a single press in the forging press benches, 2 pieces were started to be produced in a single press with the studies carried out. In this way, labor, time and energy savings have also been achieved.
- In general applications, as the number of parts produced in a single press has been doubled with the work carried out, a 50% increase in die life has been achieved.
- In the general applications made before the study; The heated raw materials were formed into parts by forging, then cooled and deburred by the cold deburring method. During these operations, scale formation was observed on the towing hook surface. The hot deburring process was started without cooling the part, and the deburring process was carried out without allowing scale formation. In this way, scale formation is prevented. The necessity of

sandblasting the parts brought by cold deburring is eliminated.

ACKNOWLEDGMENT

Special thanks to Selahattin Can for his contribution to the work.

REFERENCES

- [1] Kuralay, S. (2002). Motorlu Taşıtların Yapı Elemanları. *İzmir: DEÜ. Müh. Fak. Basım Ünitesi*.
- [2] Milliken, W. F., In Milliken, D. L., In Milliken, W. F., & Society of Automotive Engineers. (2002). Chassis design: Principles and analysis. Bury St Edmunds: *Professional Engineering Publishing*.
- [3] Chang, H.S. (2006). A study on the analysis method for optimizing mounting brackets, Hyundai Motor Company, *Society of Automotive Engineers, Inc.*, Warrendale, USA, 2006-01-1480.
- [4] Krishna, M.M.R. and Anderson, S.V. (2000). Shape optimization application in upper control arm design. Dana CORP., *Society of Automotive Engineers, Inc.*, Warrendale, USA, 2000-01-3445.
- [5] Pan, X.Y., Zonni, D., Chai, G.Z., Zhao, Y.Q. and Jiang, C.C. (2007). Structural optimization for engine mount bracket. *Society of Automotive Engineers, Inc.*, Warrendale, USA, 2007-01-2419.
- [6] Miller, W. S., Zhuang, L., Bottema, J. Wittebrood, A. J., De Smet, P., Haszler, A. and Vieregge, A. (2000). Recent Development in Aluminium Alloys for the Automotive Industry, *Materials Science and Engineering A280*, 37-49.
- [7] Douglas, R., Kuhlmann, D. (2000) Guidelines for precision hot forging with applications, *Journal of Materials Processing Technology*, 98, 2, 182-188.
- [8] Soranansri, P., Yamil, S., Sirivedin, K. (2019). Finite Element Modeling of Shrink-Fit Design for Improvement of Die-Service Life in Hot Forging Process of a Bevel Gear, *Materials Today: Proceedings*, 17, 4, 1711-1719.
- [9] Biba, N., Vlasov, A., Krivenko, D., Duzhev, A., Stebunov, S. (2020). Closed Die Forging Preform Shape Design Using Isothermal Surfaces Method, *Procedia Manufacturing*, 47, 268-273.
- [10] Kanevskiy S. Forging technology design based on simulation, Proceedings of the 39th Senafor conference; 2002;2-4; Porto Alegre, Brazil.
- [11] Lee, SR., Lee, YK., Park, CH., Yang, D-Y. (2002). A new method of preform design in hot forging by using electric field theory. *International Journal of Mechanical Sciences*, 44(4):773 – 92.

Latin Kare Tasarımı ile Farklı Sektörlerdeki İş Kazalarının Analizi

Analysis of Occupational Accidents at Different Sectors with Latin Square Design

Fatma ÇİÇEK¹, Ayça ATA^{2*}, Bikem ÖVEZ²

¹ Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, 35100, İzmir, Türkiye

² Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye

Öz

Dünya nüfusundaki artış ile doğru orantılı olarak artan üretim, ekonomik büyüme ve teknolojik gelişmeler ile petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, hidrolik gibi gerek fosil gerekse yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep de artmaktadır. Kömür rezerv değerleri göz önüne alındığında, global olarak kömür üretim ve tüketimine yönelik teknolojik gelişmelerin devam edeceği öngörülmektedir. Türkiye için de, sera gazı salınımları doğrultusunda alınan önlemlere göre kömüre dayalı elektrik üretimi azalım gösterse de, dünya genelindeki enerji arz paylarındaki artış ile trende uyum göstermesi beklenmektedir. Ülkemizdeki ekonomik yeri ve üretim sürecinin doğası gereği en riskli iş kollarından biri madencilik sektörüdür. Avrupa bazında, bu sektörde yaşanan can kayıplarının %59'unun Türkiye'de olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, 17 farklı Avrupa ülkesi için ILOSTAT verileri ile tarım, üretim, inşaat, maden ve diğer sektörlerde 2009 – 2019 yıllarında meydana gelen iş kazalarında yaşanan can kayıpları incelenmiştir. Tarım dışında tüm sektörlerde Türkiye en çok kayıp veren ülke olmuştur. İş kazası riski göz önünde tutularak kömür üretimine sahip ve madencilik sektöründe en çok kayıp veren Türkiye, Polonya, Çek Cumhuriyeti ve Almanya verileri Latin Kare Tasarım deneysel düzeninde, yıl, ülke ve sektör değişkenleri ile Genel Doğrusal Model ile istatistiksel olarak incelenmiştir. ANOVA analizi ile her değişkenin tekil ve ikili etkileşimleri ($p < 0,05$) önemli bulunmuştur. Model içerisindeki en önemli değişken ülke iken; modelin belirleme katsayısı (R^2) %99,1, düzeltilmiş (R^2_{Adj}) ve kestirimli (R^2_{Pred}) belirleme katsayısı değerleri ise sırasıyla %97,9 ve 95,2 olarak hesaplanmıştır. İstatistiksel olarak, ülke bazında can kaybı riski sıralaması, Türkiye, Almanya, Polonya ve Çek Cumhuriyeti şeklinde azalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kömür, Latin Kare Tasarım, ILOSTAT, İş Kazası, Ekonomik Faaliyet Sınıfı.

Abstract

Within the increase in production, growth and technological developments related directly to an increase in world population, demand for both fossil and renewable energy sources such as oil, coal, natural gas, nuclear and hydraulics is also increasing. The predictions show that technological developments for global coal production and consumption will progress by considering the coal reserves. Although the coal-based electricity production has gradually decreased in Turkey due to the precautions taken to reduce greenhouse gas emissions, an increase is expected due to energy supply in the world. Mining sector has the highest risk for casualty due to its economic value and nature of the production processes and 59% of deaths of this sector occurred in Europe were reported by Turkey. In this study, the ILOSTAT data for casualties in occupational accidents in agriculture, production, construction, mining and other sectors for 17 different European countries between 2009-2019 were examined. Turkey was determined as the country with highest casualty for all sectors except agriculture. Considering the occupational accident risk, Turkey, Poland, Czech Republic, and Germany data, that have coal production was analyzed statistically with Latin Square Design layout using year, country and sector variables, by using the General Linear Model. According to the ANOVA results, the singular and binary interactions have been determined as significant ($p < 0,05$). The most significant variable was found to be the country, R^2 , R^2_{adj} , and R^2_{pred} regression coefficients were determined as 99.1%, 97.9%, and 95.2%, respectively. Statistically, the risk of casualty decreases as Turkey, Germany, Poland and Czech Republic on a country basis.

Keywords: Coal, Latin Square Design, ILOSTAT, Occupational Accident, Economic Activity Class.

I. GİRİŞ

Dünya genelinde, gerek gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesinde gerekse uluslararası politikaların temelinde enerji önemli bir yere sahiptir. Gelişmişlik düzeyine paralel olarak yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte enerji tüketimi hızlanmaktadır. Artan enerji taleplerinin karşılanmasında, yenilenebilir (hidrolik, jeotermal, rüzgar, gelgit, güneş enerjisi, nükleer ve biyoyakıt ve atık) ve yenilenemeyen (petrol, kömür, ve doğalgaz) birincil enerji kaynakları kullanılmaktadır. Dünya birincil enerji arzı 1971 ve 2013 yılları arasında iki kattan fazla artarak 13541 mtep (milyon ton eşdeğer petrol) düzeyine ulaşmıştır. [1, 2]. 2019 yılına gelindiğinde ise bu değer %6,4 düzeyinde bir artış ile, 14406 mtep (milyon ton eşdeğer petrol) olmuştur. Şekil 1'de dünya genelinde, 1971-2019 yılları arasında birincil enerji kaynaklarının değişimi verilmiştir. Bu süreçte, yenilenemeyen (fosil) enerji kaynaklarının payı %86,8 seviyesinden %80,9 değerine gerileyerek birincil enerji

tüketiminde fosil yakıtlara bağımlılığın devam etmekte olduğunu göstermektedir [3]. Enerji tüketimi açısından dikkat çeken bir diğer olgu ise, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin gittikçe artmasıdır. Şekil 1’de görüldüğü gibi, hidrolik, nükleer ve biyoyakıt gibi kaynaklar dışında alternatif kaynaklar da enerji ihtiyacının karşılanmasında değerlendirilmektedir.

Dünya’da fosil enerji kaynaklarına baktığımızda rezerv değerleri, kömür, doğalgaz ve petrol sıralamasında azalmaktadır. Rezervler açısından asıl sorun ise; özellikle petrol ve doğalgaz kaynakları açısından dünya yüzeyinde coğrafi anlamdaki “eşitsiz” dağılımdır. Kömür için ise, diğer iki fosil kaynağa göre çok daha “dengeli” bir dağılım vardır ve bu özelliği de kömürün, özellikle arz güvenliği açısından, stratejik bir avantajını oluşturmaktadır [5]. Şekil 2’de dünya genelinde; 2009-2020 yılları arasındaki TWh eşdeğerliğindeki kömür üretimi (Şekil 2a) ve tüketimi (Şekil 2b) ile ortalama kömür fiyatları dağılımı (Şekil 2c) gösterilmiştir.

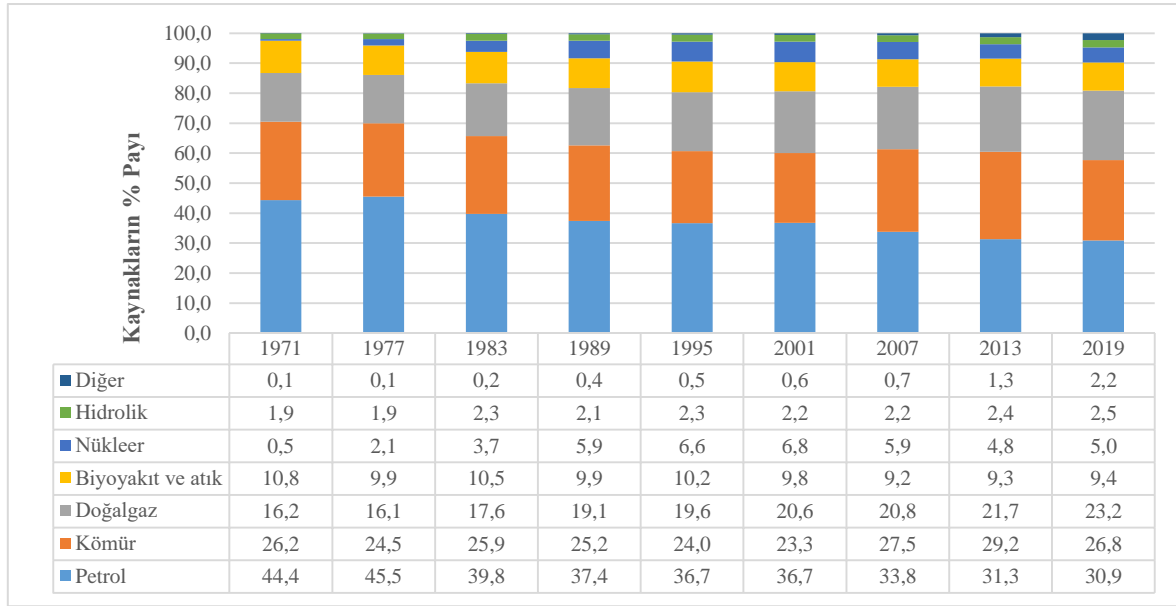
Özellikle 2013-2016 yılları arasında üretim ve tüketim değerlerinde bir düşüş gözlenirken sonrasında yeniden artış eğilimi görülmüştür. Buna göre ortalama 45000-46000 TWh (Saat başına terawatt) üretime karşılık, 44000 TWh tüketim görülmüştür. Ayrıca dünya genelinde ağırlıklı olarak kömür fiyatları ton başına 70\$ civarındadır. Kömürün enerji kaynağı olarak değerini artıran en önemli sebeplerden biri de ikincil enerji kaynağı olarak elektrik üretimindeki yeridir. 2019’da global olarak 26942 GWh (saat başına gigawatt) elektrik enerjisinin %36,6’i kömür, %23,4’ü doğal gaz, %2,9’u petrol, %10,4’ü nükleer, %15,9’u hidrolik ve 10,8’i hidrolik harici yenilenebilir kaynaklardan üretilmiştir. Yenilenebilir kaynakların toplam payı sadece %26,7 olmuştur [7]. Uluslararası Enerji Ajansı’nın (IEA) yapmış olduğu çalışmalara göre, dünyada birincil enerji kaynakları tüketiminin 2035 yılında 18676 Mtep’e ulaşması öngörülmekte ve birincil enerji kaynakları içinde kömür tüketiminin %30 pay ile ilk sırada yer alması beklenmektedir [8]. Kömür tüketimindeki artış, elektrik enerjisi üretiminin yanı sıra çelik üretimi ile çimento endüstrilerindeki gelişmelere bağlanabilmektedir [9]. 2009 yılında Avrupa Birliği Ülkelerinden başta Almanya olmak üzere, Polonya, Birleşik Krallık, İspanya, Çek Cumhuriyeti, Yunanistan, Bulgaristan ve Slovenya gibi ülkelerde de kömürden elde edilen elektrik enerjisi, ülkelerin toplam elektrik enerjisi üretimlerinin % 60’ından fazlasına denk geldiği görülmektedir [10].

Bu aşamada önemli olan bir diğer husus ise; enerji kaynaklarının yeryüzündeki dağılımı ve bu enerji kaynaklarının çevresel boyutlarıdır. Dünya genelinde ve Avrupa ülkelerinde kömür rezervlerinin dağılımı ve kömür, yağ, gaz, çimento, alevlenme ve endüstri kaynaklı CO₂ emisyonları Şekil 3’de verilmiştir. Şekil

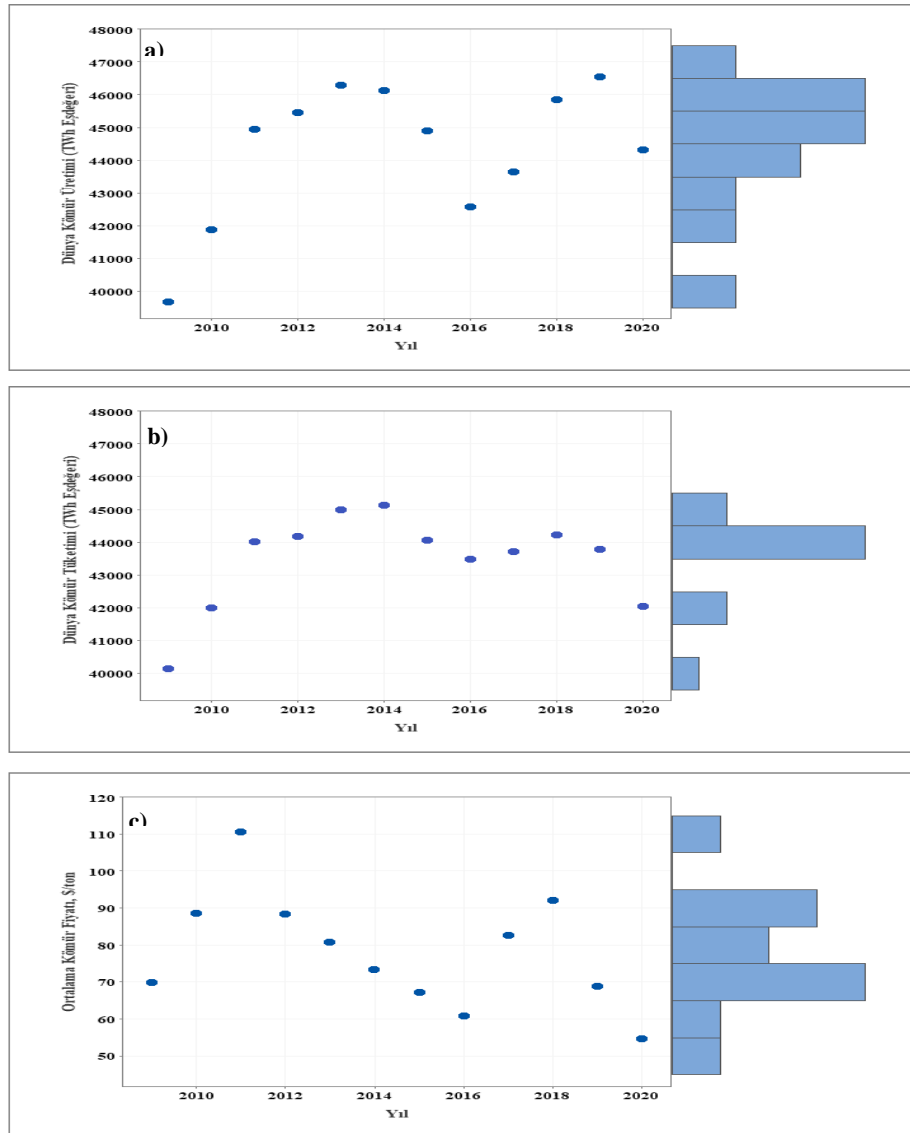
3a’da gösterildiği gibi, 2020 yılı itibarıyla dünya genelinde kömür rezervleri yaklaşık 1070 milyar ton seviyesinde iken, en önemli rezerv kaynağı 459,75 milyar ton ile Asya Pasifik bölgesidir. Ardından 256,73 milyar ton ile Kuzey Amerika ve 190,66 milyar ton ile Bağımsız Devletler Topluluğu (CIS) gelmektedir. Ülke bazında ise rezerv açısından ilk sırayı %23,3 ile ABD (248,9 milyar ton) almakta, bu ülkeyi Rusya (162,2 milyar ton), Çin (143,2 milyar ton) ve Hindistan (111,1 milyar ton) takip etmektedir. Avrupa genelindeki kömür rezervi ise; 137,2 milyar ton seviyesinde olup, dünya genelindeki payı %12,8’dir. Şekil 3b’de gösterildiği gibi; Almanya 35,9 milyar ton ile birinci sırada yer alırken; Polonya ise 28,4 milyar ton kömür rezervine sahiptir. Türkiye’nin kömür rezervi ise 11,5 milyar ton civarındadır. İsveç, İtalya, Finlandiya, Avusturya, Fransa, Norveç ve Portekiz ülkeleri için herhangi bir rezerv verisi bulunmamaktadır [6].

Son yıllarda ve özellikle Kyoto Protokolünün AB Ülkeleri tarafından kabul edilmesi ve bu kapsamda enerjide farklı politikaların gelişmesi, toplumlarda kısa sürelerde var olan ve özellikle fosil yakıt kökenli enerji kaynaklarından vazgeçileceği gibi bazı algılar oluşturmuş ancak gerçekte pek çok ülke kendi öz kaynakları başta olmak üzere ağırlıklı olarak fosil yakıtları kullanmaya devam etmiştir [10]. Fosil kaynakların neden olduğu küresel iklim değişikliği ve daha farklı çevre sorunları sonucu karbon emisyon oranları karşılaştırıldığında, ortalama 15 milyon ton CO₂ emisyonu ile kömür ilk sırada yer almaktadır (Şekil 3c). CO₂ emisyon sıralamasında, kömürü yağ ve gaz kaynakları sonrasında çimento, baca gazları ve diğer endüstrilerden kaynaklı salınımlar takip etmiştir. Bu değerler kapsamında, karbon emisyon oranı yüksek olan gelişmiş ülkelerin Kyoto Protokolü’ndeki taahhütlerine bağlı olarak bu emisyonları azaltmaları gerekmekte ve yenilenebilir enerji arayışları öne çıkmaktadır. [11].

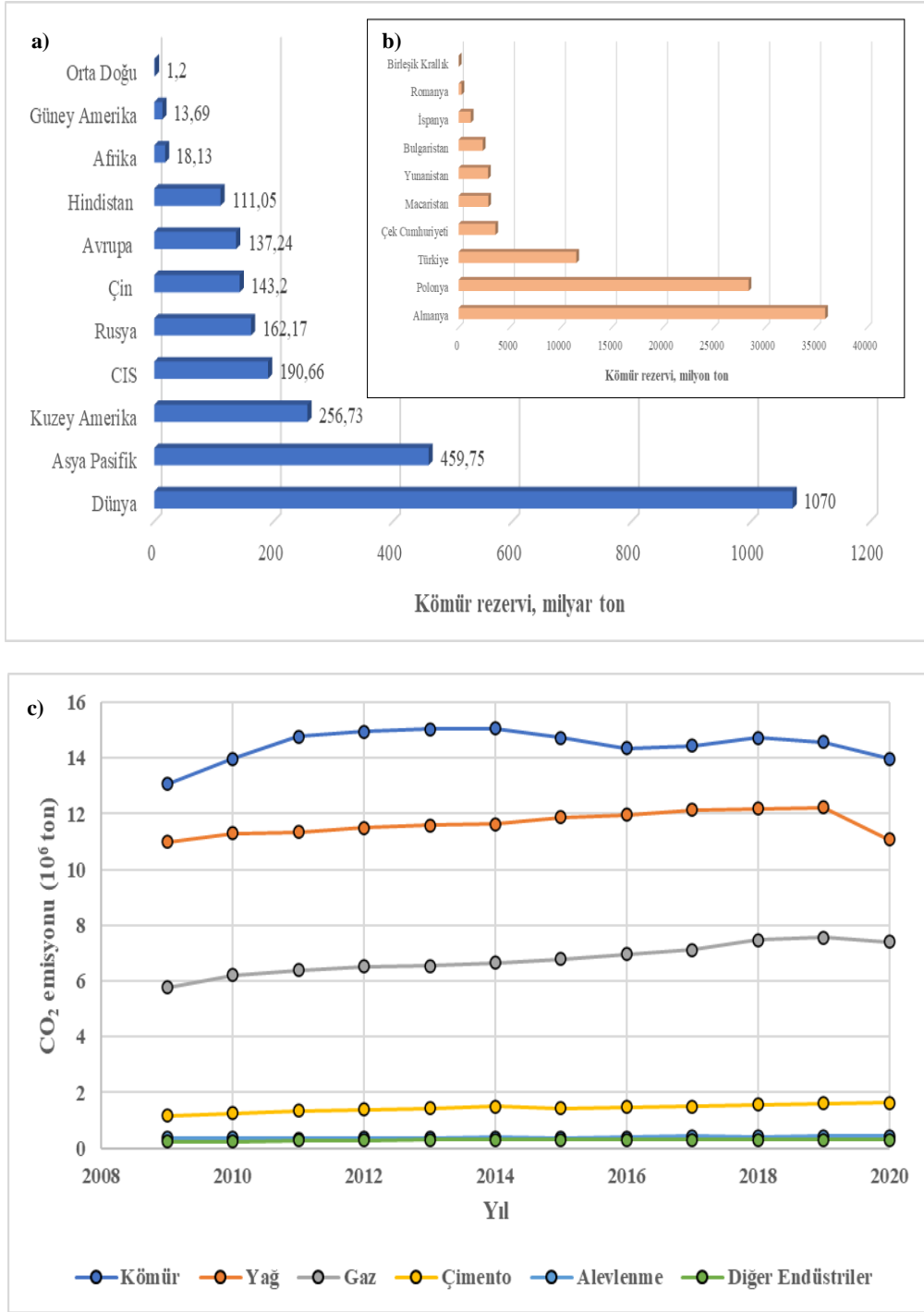
Kömür için dünya bazında yapılan değerlendirmenin bölgesel bazdaki değişimi göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 4’de 2009-2020 yılları arasındaki Asya, Amerika, Avrupa, Afrika, Bağımsız Devletler Topluluğu (CIS) ve Orta Doğu olarak bölgesel bazda kömür üretim, tüketim değerleri ve fiyat değişimi incelenmiştir. Bölgesel kömür üretimi (Şekil 4a) ve tüketimi (Şekil 4b) incelendiğinde Asya ülkelerinin öncülüğü ortaya çıkmaktadır. Kömür üretimi ve tüketimi noktasında, Asya, Kuzey Amerika ve Avrupa sıralaması görülmekte, 2018 ve sonrasında Kuzey Amerika’nın kömür üretim ve tüketimindeki bağıl katkısının düştüğü, Avrupa içinde kömür üretimi düşerken tüketim değerinin korunduğu görülmüştür. Kömür fiyatları için genel olarak üç bölge içinde benzer trendler gözlenmekte, 2018 sonrası kömür fiyatlarındaki global düşüş dikkat çekmektedir (Şekil 4c).



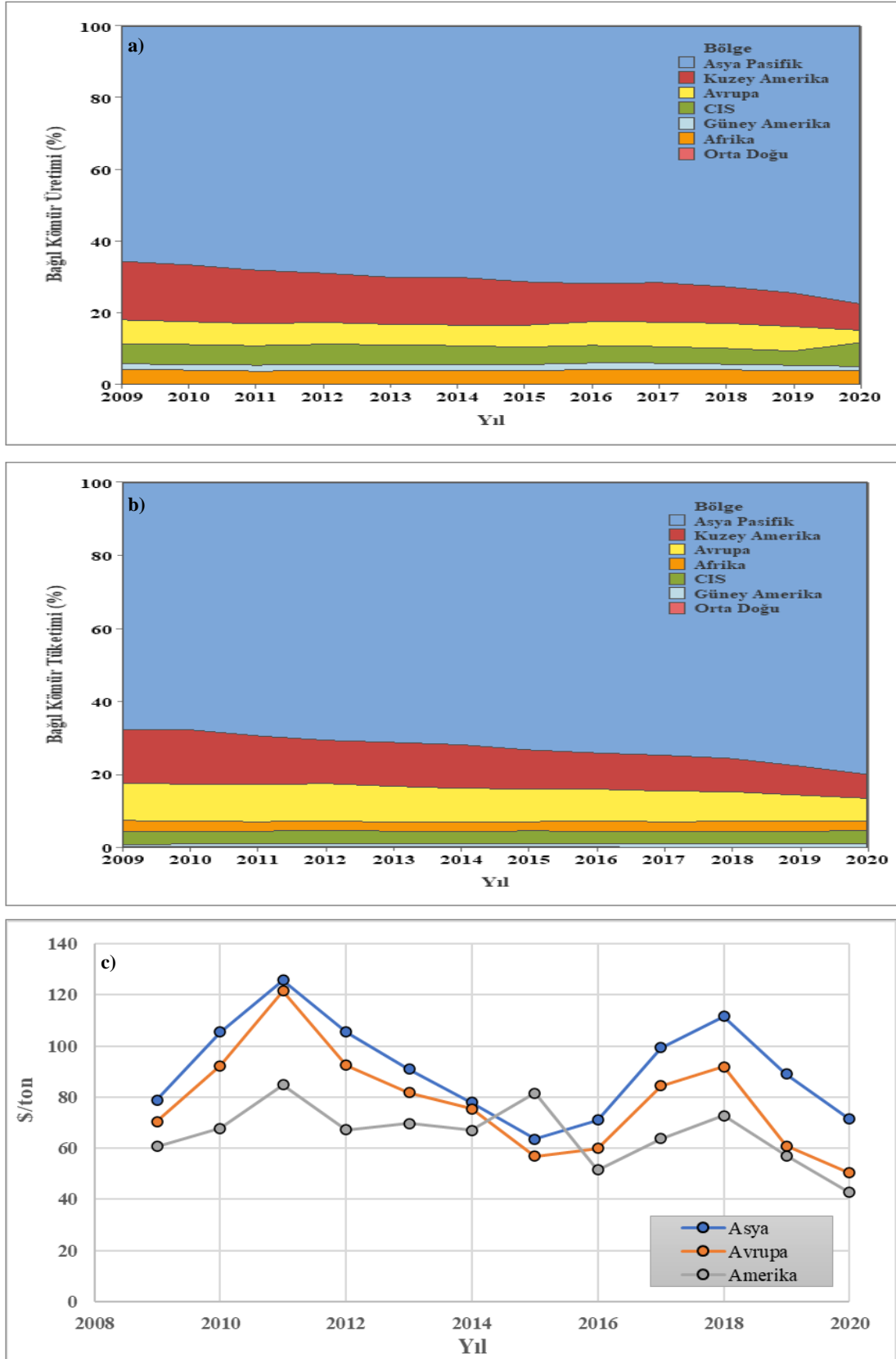
Şekil 1. Dünya birincil enerji kaynaklarının payları (%) [1-3-4]



Şekil 2. 2009-2020 yılları arasında dünya genelinde TWh eşdeğerlikli a) kömür üretimi b) kömür tüketimi c) ortalama kömür fiyatı (\$/ton) değişimi [6]



Şekil 3. a) Dünya genelinde ve farklı ülkelerde kömür rezervleri, b) Avrupa ülkelerinde kömür rezervleri, c) farklı kaynaklar için CO₂ emisyonları [6]



Şekil 4. 2009-2020 yılları arasında bölgesel olarak bağli a) kömür üretimi b) kömür tüketimi c) kömür fiyat (\$/ton) değişimi [6]

Tablo 1’de verildiği gibi; Avrupa genelinde ise; kömür üretiminde Polonya, Almanya, Çek Cumhuriyeti, Türkiye sıralaması görülürken; tüketim noktasında Almanya, Polonya, Türkiye ve Çek Cumhuriyeti şeklinde bir sıralama geçerlidir. İsveç, İtalya, Finlandiya, Avusturya, Fransa, Norveç ve Portekiz ülkeleri için 2016 yılı ve sonrasında kömür üretimi görülmemektedir [6].

Ülkemiz özelinde ise; mevcut fosil enerji kaynakları içerisinde en önemli ekonomik pay kömüre aittir. Bu paya paralel olarak, yaklaşık 6,5 milyon kişi kömür madenciliği, işleme ve dağıtımında çalışmakta iken, tahmini 2,5 milyon kişi de kömürle elektrik üretimi ve ilgili alanlarda çalışmaktadır [9].

Sadece ülkemizde değil tüm dünyada, kömürün yerel bir kaynak olarak ekonomiye kazandırılması yanında iş kazalarını ve riskleri de getirmektedir. Kömür endüstrisinin en tehlikeli bölümü olan kömür madenciliğinde can kayıplarının en fazla görüldüğü (%70) ülke, en büyük kömür üreticisi (22171 TWh) olan Çin’dir [6, 12]. Türkiye’de Türkiye Maden Mühendisleri Odası verilerine göre, 2010 – 2015 döneminde toplam 404 kömür madeni kazası meydana gelmiş olup bunların 232’si ölümcül kazalar olmuştur ve bu kazalarda 544 can kaybı, 374 yaralanma vakası belirlenmiştir. 2014 yılında Soma – Eynez kömür madeni kazası, yaşanan 301 can kaybı ile Türkiye Cumhuriyeti tarihi boyunca madencilik sektöründe yaşanan en büyük teknolojik afettir [13]. Dolayısıyla, kömür enerji payı ile dünya genelinde önemini korurken, politik, ekonomik, çevresel ve toplumsal boyutları ile uzun yıllar daha tartışılmaya devam edecektir.

Madencilik sektöründe yaşanan can kayıplarının boyutları göz önüne alınarak farklı sektörel iş kazalarındaki can kayıplarının değerlendirilmesi adına yıl, ülke ve sektör değişkenlerine göre bu çalışmada, bir deneysel tasarım uygulamasına da yer verilmiştir. Deneysel Tasarım, genellikle ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve süreç verimliliğini geliştirmek amacıyla kullanılan bir istatistik uygulama metodolojisidir. Bu metodolojide, çalışmayı etkileyen faktörler sistematik bir şekilde değiştirilerek, çıktıların iyileştirilmesi ve kontrollü hedeflenmektedir.

Değişkenlere bağlı olarak kontrollü ve kontrol olanağının kısıtlı olduğu deneysel düzenler kullanılır. Kontrollü deney tasarımlarında, test öncesi ve test sonrası kontrol gruplu veya Solomon Deneysel Düzenleri uygulanabilir. Ancak, canlıların değişken olarak yer aldığı çalışmalarda kontrol olanağı kısıtlı olup, bu tip çalışmalarda en sık kullanılan düzenler

arasında Latin Kare Tasarımı vardır [14]. Literatür çalışmalarında da görüldüğü üzere (Tablo 2), Latin Kare Tasarım düzeni çok farklı çalışma alanlarında uygulanabilmekte ve özellikle gerçek hayat ile insan faktörünün temel olduğu çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir.

Latin Kare Tasarım düzeni sadece mühendislik problemlerinde değil [15, 17], aynı zamanda farklı sosyal problemlerde de kullanılabilir [21, 22]. Örneğin, Johanson ve diğ. (2012) tarafından inme veya travmatik beyin hasarından (TBH) sonra meydana gelen zihinsel yorgunluk, işe dönme ve sosyal aktiviteleri sürdürme zorluklarına karşı OSU6162 adlı monoaminerjik stabilizatör denemesi Latin Kare tasarım düzenine göre çalışmıştır [15]. Sharif ve diğ. (2020) yılında ise, farklı polietilen mavi ekranların *Stomoxys calcitrans* tuzaklamasındaki etkinliğini incelemiştir [24]. Roque ve diğ. (2019) yılında ise inekler üzerinde yaptığı çalışmada *Asparagopsis armata* adlı yosunun beslenmeye eklenmesi ile metan emisyon değişimi 3x3 lük bir Latin kare tasarım düzeninde incelemiştir [25]. Raju ve diğ. (2021) farklı trafik ihlallerinin yıl bazlı kaza sayısına etkisini [23], Önder ve Abacı (2020) ders başarısını etkileyen faktörlerin belirlenmesinde [20], Çınar (2019) ise promosyonlu ürünlerin tüketicilerin karar alımlarına etkisinde Latin Kare Tasarım düzenlerini uygulamışlardır [26].

Latin Kare Tasarım düzenlerinde, istatistiksel analiz doğruluğunu artırmak için tekrarlar yöntemi de uygulanmaktadır. Örneğin aynı birey ve aynı periyot içerisinde farklı gözlemler elde ediliyor ise Tip 1 [16], özellikle laboratuvar hayvanlarının kullanıldığı her denemenin farklı deneklerle gerçekleştirildiği deneysel süreçlerde; Tip 2 tekrarlar yöntemi uygulanmaktadır [19]. Sonuç üzerindeki incelenecek faktör sayısının çok fazla olduğu çalışmalarda Tip 3 tekrarlar yöntemi uygulanmaktadır. Örneğin, Macedo ve diğ. (2021) yılında yaptıkları çalışmada farklı hormonların doz ve zaman değişkenlerine bağlı olarak inekler üzerindeki etkisini incelemiştir [20]. Tip 4 tekrarlar düzeni için ise, her değişken farklı seviyelerindeki değişimler esas alınarak farklı örnekleme gruplama üzerindeki etkiler incelenmektedir. İlaç denemeleri bu tip tekrarlar düzenlerine örnek verilebilmektedir.

Bu çalışmada, birincil enerji kaynağı olarak kömürün çevresel, ekonomik, ve toplumsal boyutları incelenip, ILOSTAT ekonomik faaliyet sınıflandırılmasına göre, 2009 – 2019 yıllarında meydana gelen iş kazalarında can kayıplarının Latin Kare Tasarım düzeninde istatistiksel analizi hedeflenmiştir.

Tablo 1. 2009-2019 yılları arasında Avrupa ülkelerindeki TWh eşdeğerliğinde kömür üretimi ve tüketimi

Ülke	Kömür Üretimi (TWh)						Kömür Tüketimi (TWh)					
	2009	2011	2013	2015	2017	2019	2009	2011	2013	2015	2017	2019
Türkiye	202	208	180	149	175	202	359	394	367	404	459	488
Romanya	76	77	54	55	52	46	88	95	69	70	63	58
Polonya	656	648	665	616	579	519	603	639	621	566	579	516
İspanya	44	31	20	14	13	18	110	149	133	159	156	44
İtalya	>1	>1	>1	>1	0	0	144	178	157	143	112	78
Çek Cumhuriyeti	243	244	207	197	178	156	212	215	197	190	181	167
Bulgaristan	54	72	56	68	66	57	74	94	68	76	71	59
Almanya	540	543	525	498	458	331	834	911	963	915	836	624
Portekiz	0	0	0	0	0	0	33	26	31	38	38	15
Birleşik Krallık	128	134	93	63	24	18	346	366	430	268	105	60
Fransa	0	0	0	0	0	0	125	114	134	100	106	74
Norveç	22	11	15	9	0	0	7	10	9	9	10	9
Yunanistan	95	87	78	66	53	60	98	92	81	65	56	60
Avusturya	0	0	0	0	0	0	33	40	38	38	37	33
Finlandiya	0	0	0	0	0	0	62	64	58	44	47	41
Macaristan	18	19	19	18	15	12	30	32	27	27	26	21
İsveç	0	0	0	0	0	0	23	29	25	23	23	23

Tablo 2. Latin Kare Tasarım düzeni ile farklı araştırma uygulamaları ve değişkenleri

Araştırma Konusu	Değişkenler	Kaynak
İnme veya Travmatik Beyin Hasarı (TBH) Sonrası Stabilizatör Denemesi	Stabilizatör Çeşidi, Tedavi ve Tedavi Sıralaması	[15]
Omuz Kas Yorgunluğunda Fiziksel ve Zihinsel Etmenler	İş Yükü, Tedavi ve Tedavi Sıralaması	[16]
Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Tampon Kirişlerin Optimizasyonu	Et Kalınlığı, Kütle, Sarkaç Etkileri	[17]
Travmatik Beyin Hasarından Sonra Nörorehabilitasyonun Zamanlaması ve Yoğunluğu	Tedavi Süresi, Tedavi Yoğunluğu, Tedavi Türleri	[18]
İneklerde Kisspeptin ile İndüklenen LH Salınımı Güçlendirilmesi	Tuzlu su, Murin, Kisspeptin bazı Estradiol Benzoat (EB) Tedavileri ve Süreleri	[19]
Fareler Üzerinde Anksiyete Kontrolü ve Tedavisi	Klordiazepoksit (CDZ) Dozu ve Etkileşimleri	[20]
Farklı Risk Faktörlerinin Mesleki Yaralanma ile İlişkilendirilmesi	Farklı Denek Grupları, Davranış Testi Aşamaları	[21]
Latin Kare Tasarımlarının Eğitim, Öğretim ve Psikolojik Araştırma Kullanımı	Farklı Eğitim Setleri, Aydınlatma Seviyeleri, Görsel Örneklemeler	[22]
Trafik İhlallerinin Kaza Sayısına Etkisi	Yıl, Bölge, İhlal Türü	[23]
Farklı Polietilen Mavi Ekranların <i>Stomoxys calcitrans</i> Tuzaklamasındaki Etkinliği	Farklı Polietilen Mavi Ekranlar, Yansıma Etkinliği, Zamanlama	[24]
İneklerde <i>Asparagopsis armata</i> 'nın Beslenmeye Etkileri	Eklenme Oranı	[25]
Alışveriş Süreçlerinde Promosyon Etkileri	Ürün Varyasyonları, Popülasyon Özellikleri	[26]
Peroksi-Elektrokoagülasyon ve Fotokatalitik İnsektisit Giderimi	Elektrod, Voltaj, Giderim Methodu	[27]
İnekler Üzerinde Sineklerin İsrıma Davranışlarının İncelenmesi	Farklı Boyama Desenleri	[28]
Ağızda Dağılan Metformin Tabletlerde Yardımcı Maddelerin Etkisi	Farklı Yardımcı Maddeler (Parçalayıcılar, Seyreltici, Şeker Bazlı Yardımcı Maddeler vb.)	[29]
Gemilerin Karaya Oturmasında Tehlike Tanımlaması	Geminin Hızı ve Trim Açısı, Kaya Ucu Eksantrikliği, Uzunluğu, Genişliği ve Yüksekliği	[30]
İş kazalarında Can Kayıplarının Değerlendirilmesi	Yıl, Ülke, Sektör	Bu çalışma

II. MATERYAL VE METOT

2.1. Verilerin Eldesi ve İşlenmesi

Çalışmada, ILOSTAT tarafından düzenlenen ISIC Rev. 4 (Tablo 3) ekonomik faaliyet sınıflaması ile birlikte Türkiye Sosyal Güvenlik Kurumu tarafından düzenlenen NACE Rev. 2 ekonomik faaliyet sınıflamasından alınan iş kazalarındaki can kayıpları sayısı verileri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan tüm iş kazası verileri ILOSTAT veri tabanından alınmış, Türkiye için ise kullanılan tüm veriler ayrıca Sosyal Güvenlik Kurumu verileri ile karşılaştırılmıştır. ISIC Rev. 4 ekonomik faaliyet sınıflamasına göre, tarım, madencilik, üretim ve inşaat sektörleri sırasıyla 3, 5, 24 ve 3 farklı iş kolundan oluşmaktadır. Bunlar dışındaki herhangi bir iş kolunda yaşanan iş kazası diğer faaliyet sınıflamasında değerlendirilmiştir.

Ayrıca, kömür rezervi ve fiyatı ile yıllara göre üretim ve tüketim değerleri, farklı kaynakların CO₂ emisyonu, ülkelerin nüfus ve yüzölçümü gibi araştırma verileri Global Change Data Lab projesi olan Our World In Data [6] kaynağından alınmıştır.

2.2. İstatistiksel Analizler

2.2.1. Latin Kare Deney Tasarımı

Deney tasarımı aşamasında, her faktörün satır ve sütunlarda bir kez kullanıldığı, gözlem sayısının ise faktör sayısının karesi kadar olduğu Latin Kare matris düzeni kullanılmıştır. Satır faktörü olarak ülke (Çek Cumhuriyeti, Türkiye, Polonya ve Almanya), sütun faktörü olarak yıl (2010, 2013, 2016 ve 2019), gözlem olarak ise sektörel iş kazalarındaki can kayıpları (tarım, üretim, maden ve inşaat) tanımlanmıştır. Diğer faaliyet sınıflamalarında yer alan iş kazalarına; sektörel bazlı analizin daha sağlıklı yapılabilmesi adına matris düzeninde değerlendirilmemiştir. Latin Kare Deney Tasarımının seçilmesinin temelinde, yöntemde kontrol grubu kullanılmaması ve yöntemin deneme sonrası ölçüme dayanması yatmaktadır. Ayrıca, değişkenliğin kontrolünün sağlanması adına sütun randomizasyonu sağlanmıştır. Latin Kare Deney Tasarımlarında, hata serbestlik derecesini

düşürmemek ve analiz sonuçlarında çıkabilecek anlamlı farklılıkları gözden kaçırmamak adına denemeler tekrarlanabilmektedir [31]. Dört farklı tipte gerçekleştirilebilecek bu tekrar düzenlerinde, satır ve sütun değişken seviyeleri sabit tutularak gözlem varyasyonu yapılabildiği gibi, satır ve sütun değişken seviyeleri de değiştirilebilir [32]. Örneğin, farklı satır (X) ve sütun (Y) değişken seviyelerinde, A ve B gibi iki farklı gözlem için oluşturulabilecek tekrarlı matris düzen örneklemeleri Tablo 4'te verilmiştir.

Aynı ülke ve aynı yıl değişken seviyelerinde farklı sektörel iş kazalarındaki can kayıplarının randomizasyonu ile deney tasarım matrisi tekrarlanmış ve toplam 64 farklı deneme verisi kullanılmıştır. Deney tasarımında her bir sektörel iş kazalarındaki can kayıpları, yıl ve ülke faktörlerine göre bir kez incelenmiş, tasarıma ilişkin kullanılan veriler Tablo 5'te sunulmuştur. Tablo 5 içerisindeki A, B, C ve D sırasıyla tarım, üretim, maden ve inşaat ekonomik faaliyet gruplarını ifade etmekte olup, bu gruplarla ilişkili iş kazalarındaki can kayıpları ise parantez içerisinde verilmiştir.

2.2.2. Analizler

İstatistiksel analizlerde Minitab® 19.2020.1 programı kullanılmıştır. Tablo 5'de verilen, Latin Kare Tasarımına göre oluşturulan verilere %95 güven seviyesinde Genel Doğrusal Model ile varyans (ANOVA) analizi uygulanmıştır. Yıl, ülke, ve sektör değişkenlere bağlı olarak, F ve p değerleri ile kareler toplamı ve ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. Varyans analizine bağlı olarak değişkenlerin tekil ve ikili etkileşimlerinin değişimi grafiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen modelin uygulanabilirliği, belirleme katsayısı (R²) ile düzeltilmiş (R²_{Adj}) ve kestirimli belirleme katsayısı (R²_{Pred}) ile belirlenmiştir. İstatistiksel analizin ikinci aşamasında ise; Fisher metodu kullanılarak yıl, ülke ve sektör değişkenlerin iş kazalarındaki can kaybı sayısına etkisinin ikili karşılaştırması ve anlamlı fark seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Tablo 4. Farklı Latin Kare Deney Tasarım tiplerine ilişkin tekrarlı matris düzen örnekleri

Tip 1			Tip 2		
Matris 1	Y ₁	Y ₂	Matris 1	Y ₁	Y ₂
X ₁	A	B	X ₁	A	B
X ₂	B	A	X ₂	B	A
Matris 2	Y ₁	Y ₂	Matris 2	Y ₁	Y ₂
X ₁	B	A	X ₃	A	B
X ₂	A	B	X ₄	B	A
Tip 3			Tip 4		
Matris 1	Y ₁	Y ₂	Matris 1	Y ₁	Y ₂
X ₁	A	B	X ₁	A	B
X ₂	B	A	X ₂	A	B
Matris 2	Y ₃	Y ₄	Matris 2	Y ₃	Y ₄
X ₁	A	B	X ₃	A	B
X ₂	B	A	X ₄	A	B

Tablo 5. Latin Kare Tasarımına göre veri örnekleme

Yıl Ülke	2010	2013	2016	2019
Çek Cumhuriyeti	D(27)	A(13)	B(19)	C(1)
Türkiye	A(22)	B(284)	C(83)	D(368)
Polonya	B(73)	C(18)	D(52)	A(10)
Almanya	C(5)	D(80)	A(76)	B(61)
Çek Cumhuriyeti	A(15)	B(25)	C(5)	D(0)
Türkiye	B(267)	C(87)	D(496)	A(31)
Polonya	C(26)	D(71)	A(10)	B(30)
Almanya	D(85)	A(89)	B(67)	C(2)
Çek Cumhuriyeti	C(4)	D(21)	A(9)	B(2)
Türkiye	D(475)	A(23)	B(262)	C(48)
Polonya	A(19)	B(52)	C(27)	D(44)
Almanya	B(99)	C(6)	D(73)	A(94)
Çek Cumhuriyeti	B(25)	C(4)	D(19)	A(84)
Türkiye	C(125)	D(521)	A(26)	B(205)
Polonya	D(114)	A(12)	B(50)	C(19)
Almanya	A(94)	B(81)	C(4)	D(70)

*A: Tarım, B: Üretim, C:Maden, D:İnşaat

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Ekonomik Faaliyet Gruplarında İş Kazalarındaki Can Kayıplarının İncelenmesi

Çalışmada öncelikle, Türkiye ile bazı Avrupa ülkelerinde tarım, maden, üretim, inşaat ve diğer ekonomik faaliyet gruplarında 2009 – 2019 yılları arasında meydana gelen iş kazaları sonucu yaşanan can kayıpları incelenmiştir (Şekil 5).

ILOSTAT veri tabanından alınan veriler ışığında, tarım sektöründe 2009 – 2019 yılları arasında yaşanan iş kazalarını incelediğimizde İtalya, Almanya ve Avusturya da yaşanan can kayıplarının ilk üç sırada olduğu görülmüştür (Şekil 5). İtalya’da yapılan bir çalışmada 2012 – 2017 yılları arasında tarım sektöründe meydana gelen iş kazaları incelenmiştir. Yaralanmaların nerede ve ne zaman meydana geldiği, olaya karışan kişilerin sosyo – demografik profilleri (yaş, cinsiyet, uyruk dahil) araştırılmış ve bu olaylar tarımsal uygulamalarla ilişkilendirilerek ortaya konulmuştur ve bulunan sonuçlar doğrultusunda, tarımda çalışanları ilgilendiren riskler konusunda farkındalığı artırmak için eğitim programlarının planlanması gerektiği ortaya çıkarılmıştır [35].

Tarım dışındaki üretim, inşaat, maden ve diğer ekonomik faaliyet sınıflarındaki yaşanan iş kazalarında toplam can kayıpları sayısının en fazla olduğu ülke Türkiye olarak belirlenmiştir. Yirmi dört farklı iş kolunun yer aldığı üretim sektöründe ise, Türkiye (%31), İtalya (%12) ve Fransa (%10) ülkelerinin can kayıplarının ilk üç sırada yer aldığı görülmüştür. İnşaat sektörü için de aynı sıralama geçerli olmuştur. (Şekil 5). Türkiye – İstanbul’da yapılan bir çalışmada inşaat sektöründeki iş kazalarının %67’sinin gerekli iş güvenliği önlemlerinin alınmasına rağmen kurallara uymamak olarak tanımlanan “güvensiz davranış”lardan kaynaklı ortaya çıktığı görülmüştür. Yapılan çalışmada, inşaat sektöründe iş kazası görülme oranının en az % 6,5 olduğu gözlemlenmiştir. Bu oranın Türkiye’de ve tüm Avrupa ülkelerinde diğer sektörlerle göre 6 – 10 kat fazla olduğu görülmüştür [36].

Beş farklı iş kolunun yer aldığı maden sektöründe yaşanan iş kazalarındaki can kayıplarında ise, Türkiye’yi sırasıyla Polonya ve Romanya ülkeleri izlemiştir (Şekil 5). Türkiye, Polonya ve Romanya ülkelerinde sırasıyla %59, %13,4 ve %4,1 oranlarında iş kazası kaynaklı can kaybı meydana geldiği görülmüştür. Madencilik sektöründeki can kayıpları açısından bu üç ülkenin ardından ise sırasıyla;

İspanya, İtalya, Çek Cumhuriyeti, Bulgaristan ve Almanya gelmektedir. Sektördeki iş kazaları genellikle kömür ve linyit madenciliği iş kolunda yani yeraltı kömür madeni ocaklarında meydana geldiği için; çalışmanın devamında yoğun olarak kömür ve linyit madenciliği yapan ülkeler üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Yeraltı kömür madeni ocaklarında yaşanan iş kazaları ile ilgili yapılan bir çalışmada, ölümlü bir kaza gerçekleşinceye kadar geçen sürenin analizinde işçi sayısı, havalandırma, gaz ölçüm koşulu ve kömür tozu miktarı değişkenlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur [37]. Türkiye’de ekonomik faaliyet sınıflarında, meydana gelen toplam iş kazalarını incelediğimizde en fazla iş kazasının 2018 yılında meydana geldiği ve yaşanan iş kazalarındaki toplam can kayıpları sayısını incelendiğinde, en fazla can kaybının 2011 yılında meydana geldiği görülmüştür [33, 34]. Benzer şekilde; 2003- 2015 yılları arasındaki ülkemizdeki iş kazaları incelendiğinde ise; 2003-2012 yılları arasında iş kazası sayılarında, inişli- çıkışlı bir trend gözlenirken; 2012 sonrasında iş kazası ve can kayıplı iş kazalarının iki kattan fazla arttığı vurgulanmıştır [38].

ILOSTAT ISIC Rev.4 sınıflandırmasına göre Türkiye’de iş kazalarında en fazla can kaybının diğer ekonomik faaliyet sınıflarından sonra sırasıyla inşaat, üretim, maden ve tarım ekonomik faaliyet sınıflarında olduğu görülmüştür.

İspanya içinde gözlenen benzer iş kazaları dağılımı ile ilgili Fernandez- Muniz ve ark., yiyecek ve içecek hizmetleri, bina hizmetleri, konaklama gibi diğer faaliyet sınıfına ait iş kolları başta olmak üzere 14 farklı iş kolunu kritik sektörler olarak belirlemiştir. 1994-2014 yılları arasında İspanya’da gerçekleşen bu iş kollarına ait; iş kazalarını ve ekonomik döngüyü incelemiştir. 2001 yılında görülen ekonomik kriz ile birlikte, iş kazalarında düşüş gözlenirken; ekonomik iyileşmeler ile birlikte iş kazalarının arttığı ve İspanya’da ekonomik büyümenin büyük bir iş kazası maliyeti getirdiği ayrıca vurgulanmıştır [39].

3.2. Madencilik Faaliyet Sınıflamasına göre İş Kazalarının Değerlendirilmesi

Madencilik sektöründe, özellikle kömür ve linyit madenciliği yapan 4 farklı ülkenin güncel kömür üretimi ve nüfus bilgileri ile yüzölçümü verileri değerlendirilmiştir. Yüzölçümü olarak Türkiye ilk sırada yer alırken, kömür üretimi açısından ise

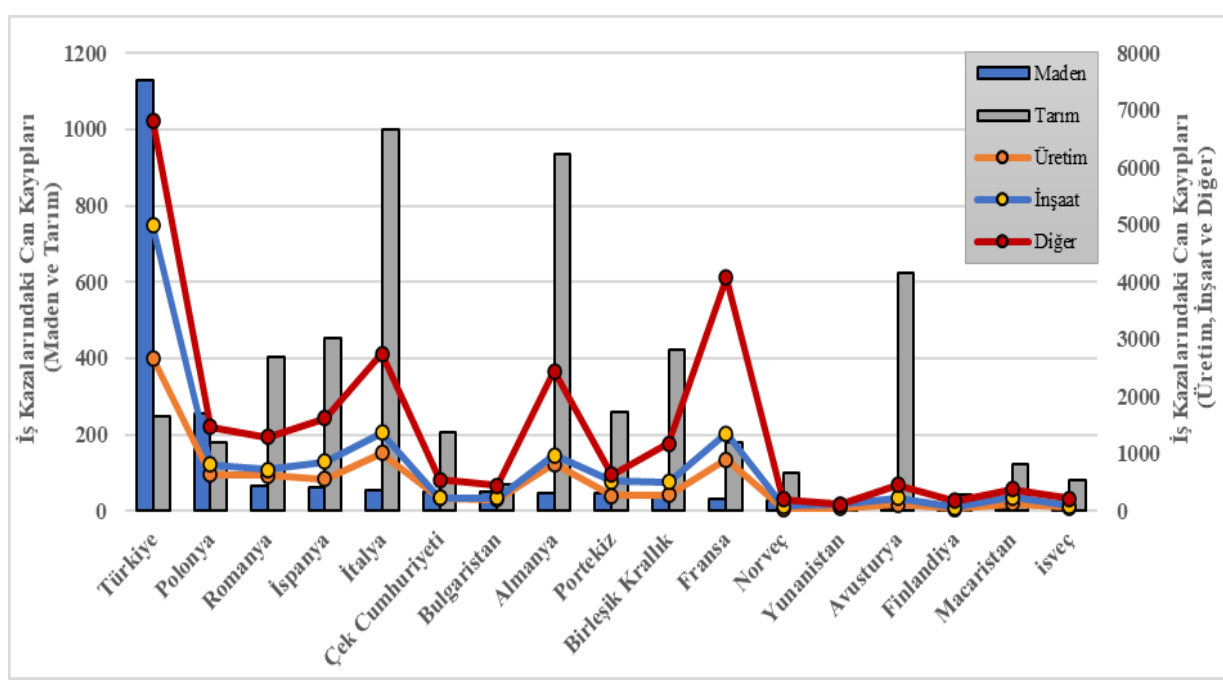
Almanya ilk sırada yer almıştır. Kişi başı kömür üretiminde ise; Çek Cumhuriyeti ve Polonya ilk sıralarda yer alır iken bu ülkeleri Almanya ve Türkiye izlemiştir. Şekil 6’da verilen değerlere göre, Polonya, Almanya, ve Çek Cumhuriyeti için maden sektöründe iş kazası sonucu can kaybı yüzdeleri hesaplandığında sırasıyla % 13,4, 2,6, ve 2,7 değerlerine ulaşılmıştır.

Şekil 7’de ise Türkiye, Polonya, Almanya, ve Çek Cumhuriyeti için kömür üretimi, tüketimi ve can kayıplarının % değişimi verilmiştir. 2009-2019 yılları arasında kömür üretimi ve tüketimi değişimi Şekil 7a ve Şekil 7b’de verilmiştir. Buna göre 2015 yılı ve sonrasında Türkiye için gerek üretim gerekse tüketim trendindeki artış dikkat çeker iken, diğer ülkeler için ise tam tersi olduğu görülmüştür. Bir TWh eşdeğerliğinde kömür üretimi için yaşanan can kayıpları, **Eşitlik 1**’de gösterildiği gibi can kaybının yıllık üretime oranlanması ile bulunmuştur ve ülkemizde yaşanan durumun boyutları açıkça görülmüştür (Şekil 7c).

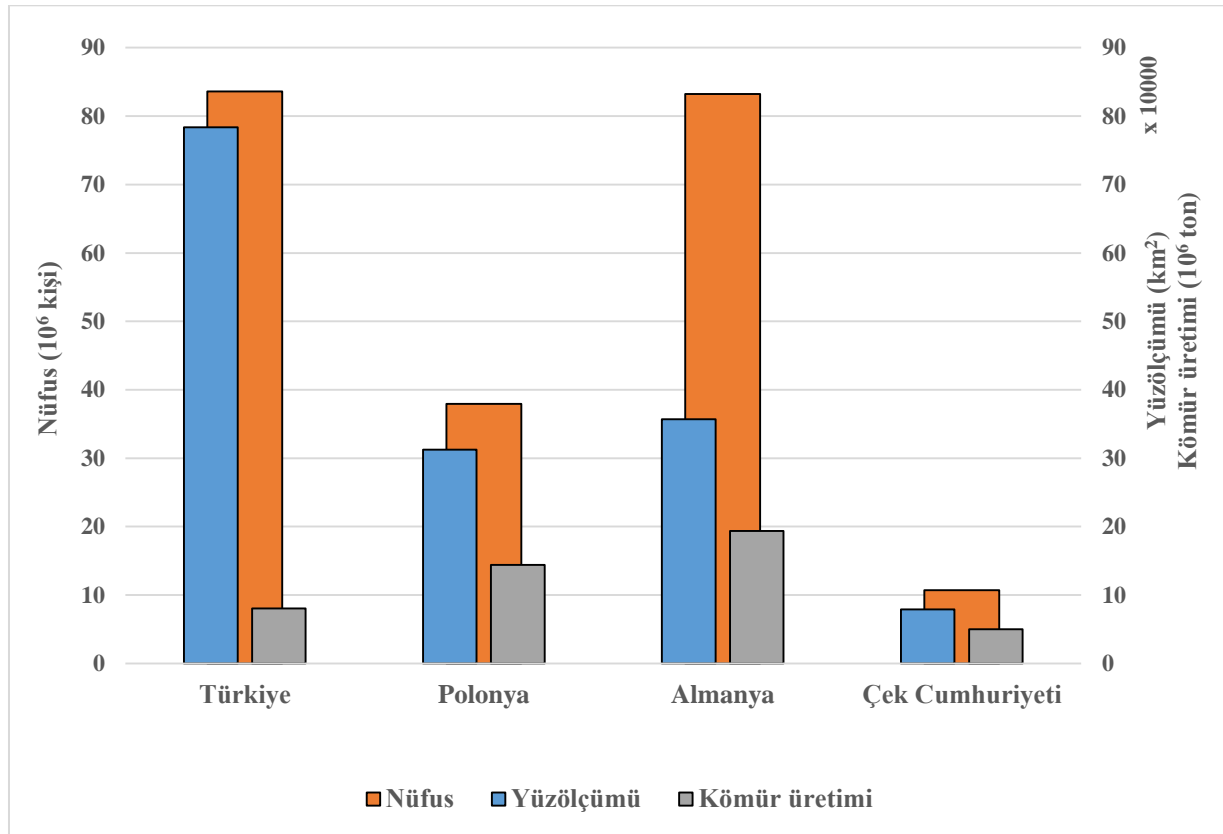
$$\% \text{ Can Kaybı} = \frac{\text{Can Kaybı}_i}{\text{Kömür Üretimi(Twh)}_i}, i: \text{yıl} \quad (1)$$

Soma – Eyzek kömür madeni faciasının yaşandığı 2014 yılında can kaybı oranı %201,05 olarak hesaplanmıştır. Şekil 7c’de görüldüğü gibi; diğer ülkeler için ise bu oranın 2009-2019 yılları arasında %6,25 bandını aşmadığı, en çok kömür üreten ülkelerden olan Polonya’da yıllar içerisinde bu oranın %3,25 değerine gerilediği görülmektedir. 2009-2019 yılları arasında bir TWh eşdeğerliğinde kömür üretimi için yaşanan ortalama can kayıpları yüzdesi ise Türkiye, Polonya, Çek Cumhuriyeti ve Almanya için sırasıyla 54,7, 3,8, 2,2, ve 0,9 olarak hesaplanmıştır.

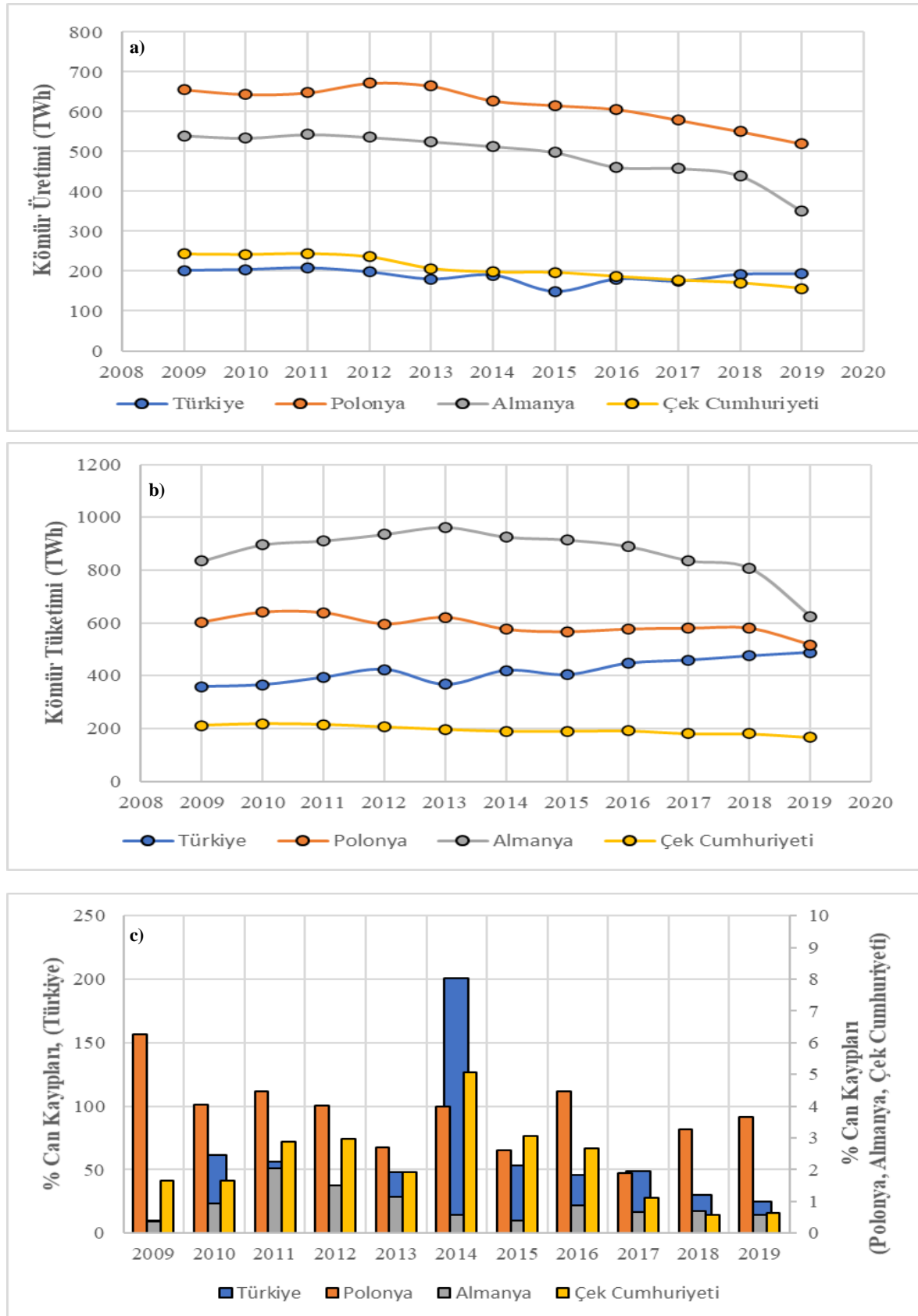
2002-2015 yılları arasında Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistik yıllıklarından elde edilen madencilik sektörü bazlı iş kazası verilerinin istatistiksel olarak incelendiği çalışma sonucunda da, mekanize yerine emek yoğun üretim süreçlerinin ölümlü iş kazası görülme sıklığını arttırdığı vurgulanmıştır [40]. Duarte ve ark., 2010 ve 2018 yılları arasında dünya genelinde madencilik sektörüne ait iş kazaları ile ilgili yürütülmüş araştırma sonuçlarını derlemiş, kömür madenciliğinde makine kaynaklı yüksek kaza riskini vurgulanırken, bu çalışma da olduğu gibi; özellikle yeraltı madenciliği ile ilişkili can kaybı yüksek kazalara dikkat çekmiştir [41].



Şekil 5. 2009-2019 yılları arasında Avrupa ülkelerinde farklı faaliyet gruplarında yaşanan iş kazaları sonucu can kayıpları [33-34]



Şekil 6. Madencilik sektöründe iş kazalarında en çok can kaybı veren ülkelerin nüfus, yüzölçümü ve kömür üretimi değerleri [6]



Şekil 7. 2009-2019 yılları arasında Türkiye, Polonya, Almanya, ve Çek Cumhuriyeti için a) kömür üretimi b) kömür tüketimi c) can kayıplarının değişimi (%)

3.3. İş Kazalarına Bağlı Can Kayıplarının Latin Kare Tasarımı ile Analizi

Ülke, yıl ve sektör değişkenlerine bağlı iş kazaları sonucu yaşanan can kayıplarının Latin Kare Tasarımı ile oluşturulan deneme planı Genel Doğrusal Model ile analizlenmiştir. Değişkenlerin tekil ve ikili etkileşimlerine ait elde edilen varyans analizi (ANOVA) sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Model içerisindeki her bir terimin önemi p değeri ile, bu terimlerin önem seviyeleri ise F değeri ile belirlenmiştir.

Tablo 6. İş kazaları sonucu yaşanan can kayıplarının varyans analizi (ANOVA)

Değişkenlik Kaynağı	Hata Serbestlik Derecesi, DF	Kareler Toplamı	Ortalama Değer	F-Değeri	p-Değeri
Yıl	3	5751	1917	6,83	0,001
Ülke	3	356173	118724	422,91	0,000
Sektör	3	170104	56701	201,98	0,000
Yıl*Ülke	9	8197	911	3,24	0,008
Yıl*Sektör	9	8481	942	3,36	0,007
Ülke*Sektör	9	323424	35936	128,01	0,000
Hata	27	7580	281		
Toplam	63	879709			

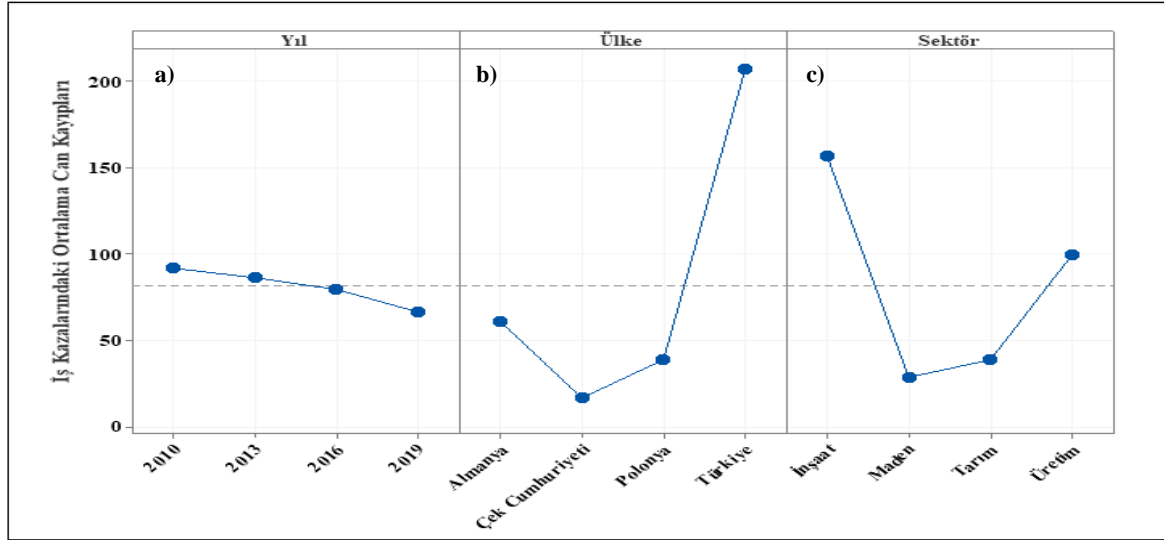
%95 güven aralığında yapılan varyans analizine göre, tekil değişkenler (yıl, sektör ve ülke) ve ikili değişken etkileşimlerinin p değerleri 0,05 değerinden küçük olduğu için istatistiksel açıdan anlamlıdır ve model denklem içerisinde yer verilmelidir. Değişkenlerin F-değerleri karşılaştırıldığında önem seviyeleri ise; ülke, sektör ve yıl şeklinde azalmaktadır. Buna göre, oluşturulan modelin belirleme katsayısı (R^2) %99,1 iken R^2_{Adj} ve R^2_{Pred} değerleri sırasıyla %97,9 ve 95,2 olarak hesaplanmıştır. İş kazalarındaki can kayıplarının, yıl ülke ve sektör değişkenlerine göre %97,9 oranında açıklanabilecek ve farklı değişken koşullarında %95,2 oranında sonuçların öngörülebilecektir.

Tekil değişkenlerin faktöriyel dağılımı Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre; Şekil 8a'da ülke ve sektörden bağımsız olarak iş kazalarında can kayıplarında azalma eğilimi görülmektedir. Ülke olarak iş kazalarında can kaybı riski sıralaması, Türkiye, Almanya, Polonya ve Çek Cumhuriyeti olarak azalmaktadır (Şekil 8b). Şekil 8c'de görüldüğü üzere; sektörel bazlı risk sıralaması inşaat, üretim, tarım ve maden şeklinde azalmaktadır.

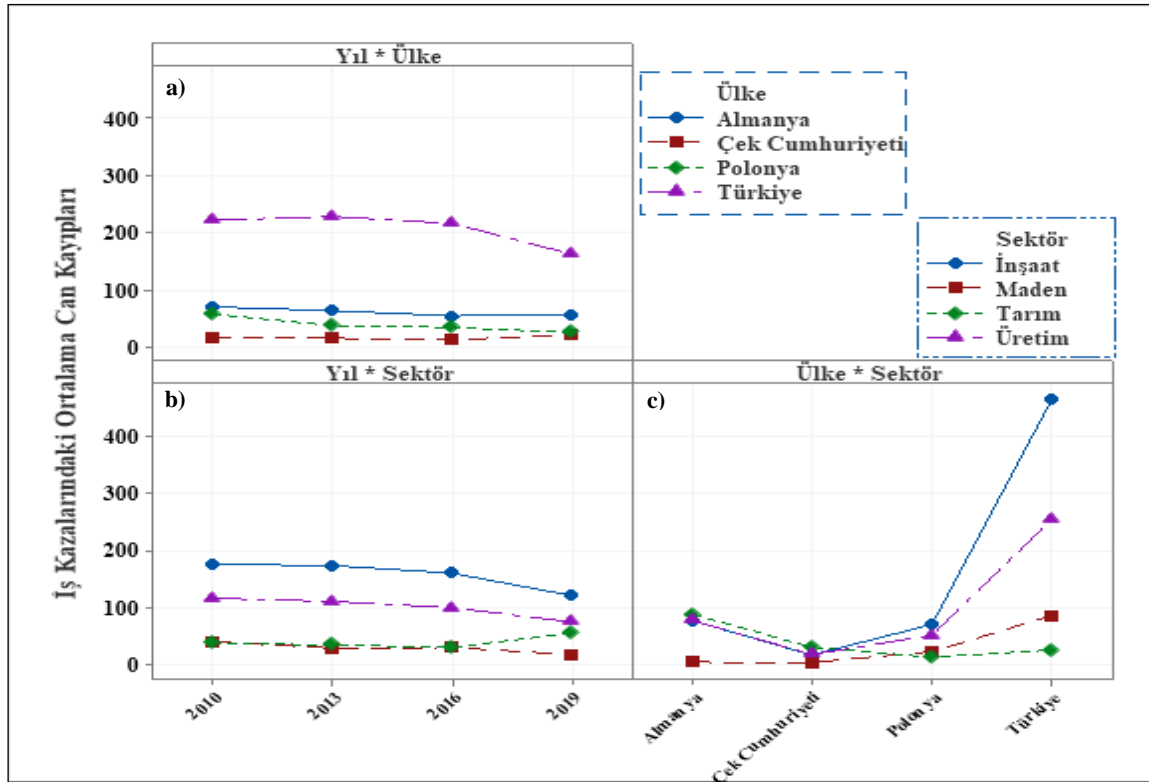
Yıl, ülke ve sektör için ikili değişkenlerin faktöriyel dağılımı Şekil 9'da gösterilmiştir. Yıl -ülke ikili etkileşim için (Şekil 9a), yıllara göre Türkiye'nin en fazla can kaybı veren ülke olduğu görülmektedir. Değerlendirilen süreçte iş kazalarındaki ortalama can kayıp sayılarında, Türkiye için 222,2 değerinden 163 değerine, Almanya için 70,75'den 56,8 değerine; Polonya için 52'den 25,8 değerine düşüş görülmüştür. Çek Cumhuriyeti için ise bu süreçte, 17,8 değerlerinde 21,8 seviyesine doğru can kayıplarında bir artış görülmüştür. Yıl-sektör ikili değişiminde (Şekil 9b), inşaat, üretim ve maden sektörlerinde azalma eğilimi gözlenir iken, tarım sektöründe artış gözlenmektedir. Yıl değişkeninden bağımsız olarak ülke ve sektörel ikili etkileşimi incelendiğinde (Şekil 9c), Türkiye ve Polonya için, sektörel can kayıplarının inşaat, üretim, maden ve tarım şeklinde azalarak gerçekleştiği görülmektedir. Almanya ve Çek Cumhuriyeti için ise, bu durum tarım, inşaat, üretim ve maden sıralamasında azalmaktadır.

İstatistiksel analizin ikinci aşamasında ise; Fisher metodu kullanılarak yıl, ülke ve sektör tekil değişkenlerin iş kazalarındaki can kaybı sayısına etkisi belirlenmiştir. Fisher metodunda tekil değişkenlerdeki (yıl, ülke, sektör) İş kazalarındaki ortalama can kayıpları gruplar (A, B, C, D) halinde incelenmiştir. Bu amaçla değişken seviyelerinde ikili karşılaştırma yapılarak, anlamlı fark seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Yıl, ülke ve sektör değişkenlerinin Fisher metodu kullanılarak ikili grup verileri (Tablo 7) incelendiğinde, aynı grup içerisinde yer alan değişken seviyeleri istatistiksel olarak anlamsız kabul edilmiştir. Buna göre yıl gruplamasında 2010-2013, ve 2013-2016 etkileşimleri aynı gruplarda yer almıştır. Yıl bazında sırasıyla 2016 ve 2019 da görülen 79,9 ve 66,8 seviyeleri anlamlıdır. Ülke bazında ortalama can kayıpları sayısı dört farklı seviyede olup; dört farklı grupta değerlendirilmiştir. Dört sektör için iş kazalarındaki ortalama can kayıpları Türkiye, Almanya, Polonya ve Çek Cumhuriyeti şeklinde azalmıştır. Sektör bazında ise tarım (39,2)-maden (29) ikili etkileşimi istatistiksel olarak anlamsız görülmüştür. Fisher metodu sonuçlarına göre; değişkenlerin anlamlılık sırası ülke, sektör ve yıl olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, varyans analizindeki değişkenlerin F-değerleri ile verilen ülke (422,9), sektör (201,9), ve yıl (6,83) şeklinde azalan önem sıralaması ile uyumlu olmuştur.



Şekil 8. Model içerisindeki tekil değişkenlerin iş kazalarındaki ortalama can kayıpları ile ilişkisi a) yıl, b) ülke, c) sektör



Şekil 9. Model içerisindeki ikili etkileşimlerin iş kazalarındaki ortalama can kayıpları ile ilişkisi a) yıl-ülke, b) yıl-sektör, c) ülke-sektör

Tablo 7. Fisher Test ile ikili grup verilerinin anlamlılık durumu

Yıl			Ülke			Sektör		
Yıl	İş Kazalarında Ortalama Can Kayıpları	Grup	Ülke	İş Kazalarındaki Ortalama Can Kayıpları	Grup	Sektör	İş Kazalarındaki Ortalama Can Kayıpları	Grup
2010	92,2	A	Türkiye	207,7	A	İnşaat	157,3	A
2013	86,7	A, B	Almanya	61,6	B	Üretim	100,1	B
2016	79,9	B	Polonya	39,2	C	Tarım	39,2	C
2019	66,8	C	Çek Cumhuriyeti	17,1	D	Maden	29	C

Ülke, yıl ve sektör değişkenlerine bağlı iş kazaları sonucu yaşanan can kayıplarının istatistiksel analizine yönelik farklı örnek grupları ile benzer bir çalışma daha önce yapılmamıştır. Bu çalışmada da kullanılan canlı populasyonu ve periyoda dayanan Latin Kare Tasarım deneme düzenlerinde yapılan çalışmaların çoğu özgün denemeler olup, tekrarlanabilirlik kısıtı nedeniyle farklı çalışmalar ile karşılaştırılması doğru sonuçlar vermemektedir. Yapılan çalışmaların bir kısmında değişkenler arasında anlamlı farklar elde edilir iken, bazı çalışmalarda anlamlı farklar elde edilemeyip deneysel tasarım düzeni değiştirilmiştir. Örneğin; *Moringa oleifera* yaprak özütlerinin, Nubiya keçileri üzerindeki yem kullanımını iyileştirmesi üzerine yapılan çalışmada; 88 günlük bir periyotta farklı dozlarda yapılan denemelerde değişkenler arasında anlamlı farklar elde edilmiştir [42]. Ancak; Pinna ve ark.'nın köpekler üzerinde diyet proteini ve fruktooligosakkaritlerin fekalfermentatif son ürünleri, fekal bakteriyel popülasyonlar ve sindirilebilirlik üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, tek yönlü ANOVA analizi ile 21 ve 28 günlük her bir deneme sonrasında anlamlı farklar elde edilemediği bildirilmiştir [43].

İş kazalarının istatistiksel dağılımına ilişkin çalışmalarda ise; kazaların meydana gelme sıklığı, parametrik etkileşimler ve olasılık dağılımları incelenmiştir. Örneğin; Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK)'dan alınan İç Anadolu Bölgesi inşaat sektörüne ait 2005 - 2015 yılları iş kazası verileri, şehir, yaş, ay ve kazaların sebepleri gibi bilgilere göre istatistiksel olarak incelenmiş; Nisan-Kasım ayları arasında risk artışı gözlenirken; düşme, ekipman kontrol kaybı, patlama vb. tehlikelerin risk faktörü olarak öne çıktığı vurgulanmıştır [44]. Cavdar ve ark., ise Sosyal Güvenlik Kurumu'nun 2009-2019 yılları arasındaki verilerini; iş kazasının meydana geldiği saatlere ve cinsiyete göre dağılımını çıkarmak adına incelemiş; saat 11:00 ile 11:59 arası iş kazalarının en yüksek seviyede; 18:00-07:00 aralığında ise en düşük seviyede gözlemlendiği sonucuna ulaşmıştır [45].

Kömür madenciliği kaza verilerinin değerlendirilmesinde izlenebilecek bir diğer istatistiksel yaklaşım ise; Weibull, Poisson, Üstel Dağılım gibi farklı modellerin uyumunun incelenmesidir. Örneğin, iş kazası sayısı, kazalar arası süre, ve iş günü kaybı parametreleri ile yapılan bir çalışmada kaza sayısı Poisson, kazalar arası süre Üstel, iş günü kaybı Lognormal dağılıma uygun bulunmuştur [46]. Benzer şekilde yapılan farklı bir çalışma da ise; kaza sayısı Poisson dağılımına uygun bulunurken, kazalar arası süre ise Weibull dağılımı ile ifade edilmiştir [47]. Ülkemizde 1996-2009 yılları arasında yaşanan ve can kaybı ile sonuçlanmayan madencilik kazalarının ile Logistik model ile uyumlu olduğu sonucu ortaya konmuştur [48].

IV. SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

Çalışma kapsamında, enerjinin gerekliliği ortaya konmuş, ülkemiz açısından önemli bir rezerv olan kömür kaynağının global ve bölgesel üretim ve tüketim değerleri incelenmiştir. Kömürün farklı kaynaklarla CO₂ emisyonu ve farklı sektörlerle toplumsal açıdan iş kazalarındaki yeri karşılaştırılmıştır. Böylece, ulusal ve uluslararası perspektifte iş kazası verilerinin irdelenmesi ve farklı faktörler altında istatistiksel olarak değerlendirilmesi adına güncel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, 2009 – 2019 yılları arasında 17 farklı ülkeye ait iş kazalarındaki toplam can kayıplarının incelenmesi (ILOSTAT) sonucunda farklı sektörlerdeki ilk beş ülke sıralamaları aşağıdaki gibidir:

- Tarım ekonomik faaliyet sınıfı: İtalya>Almanya> Avusturya> İspanya> Birleşik Krallık
- Üretim ekonomik faaliyet sınıfı: Türkiye> İtalya>Almanya> Fransa>Polonya
- Maden ekonomik faaliyet sınıfı: Türkiye> Polonya> Romanya> İspanya> İtalya
- İnşaat ekonomik faaliyet sınıfı: Türkiye> İtalya>Fransa>Almanya> İspanya
- Diğer ekonomik faaliyet sınıfları: Türkiye> Fransa>İtalya>Almanya> İspanya

İncelenen on yedi ülkede, maden sektöründe yaşanan iş kazalarındaki can kayıpları Türkiye'de %59, Polonya da %13,4 iken diğer ülkelerde oran %2,5-3,5 aralığındadır. Ülkelerin nüfus, gelişmişlik düzeyleri, ekonomik şartları ve kişi başına düşen gelir oranları, iş güvenliği kurallarının uygulamaları iş kazalarının görülme sıklığının artmasındaki etmenler olarak düşünülebilir. Türkiye için 5 farklı ekonomik faaliyet sınıfında 10 yıllık periyotta iş kazalarındaki toplam can kayıpları sayısı sıralamasının; Diğer>İnşaat> Üretim> Maden> Tarım şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın Latin Kare Tasarımı ile analizinde yıl, ülke ve sektör değişkenlerine göre iş kazalarındaki can kayıpları değerlendirilmiştir. Dört farklı sektör için Latin Kare tasarım düzeninde, can kayıpları analizleri incelenmiş, ANOVA ile model uyumluluğu, Fisher Testi ile ise ikili etkileşimler arasındaki anlamlı farklar belirlenmiştir. ANOVA analizi sonucunda, model içerisinde yer alan tekil ve ikili değişken etkileşimleri anlamlı bulunmuş ve değişkenlere bağlı elde edilen denklem ile yeni denemelerin %95,2 oranında öngörülebileceği sonucu çıkarılmıştır. İş kazalarında can kayıpları sıralaması ülke değişkenine göre Türkiye, Almanya, Polonya ve Çek Cumhuriyeti; sektör değişkenine göre ise inşaat, üretim, tarım ve maden sıralamasında azalmıştır. Yıl değişkenine göre, ortalama can kayıp sayısında düşüş trendi öngörülsede; Türkiye'de diğer ülkelere oranla 4 kat daha fazla kayıp verildiği görülmektedir.

Çalışmanın dayanağı olan güncel veriler ışığında; sektör, ülke, yıl gibi etkileşimlerin iş sağlığı ve güvenliği açısından sonuçları istatistiksel değerlendirmeler ile vurgulanmış olup, konunun ulusal ve uluslararası boyuttaki risk düzeyi açıkça ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamı, farklı sektörel karşılaştırmalar için genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] IEA (International Energy Agency) 2014. *Key World Energy Statistics 2014*, Paris, Fransa.
- [2] IEA (International Energy Agency) 2015. *Key World Energy Statistics 2015*, Paris, Fransa.
- [3] IEA (International Energy Agency) 2021. *Key World Energy Statistics 2021*, Paris, Fransa.
- [4] IEA (International Energy Agency) 2007. *Key World Energy Statistics 2007*, Paris, Fransa.
- [5] Pamir, A. N. (2003). Dünyada ve Türkiye’de Enerji, Türkiye’nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları. *Metalurji Dergisi*, 134, 73-100.
- [6] Our World in Data, <https://ourworldindata.org> (Aralık, 2021).
- [7] Dünyada ve Türkiye’de Enerjinin Görünümü 2021, *MMO Enerji Köşesi*, <https://enerji.mmo.org.tr/sunumlar/>, (Kasım, 2021).
- [8] IEA (International Energy Agency) 2020. *Coal Information 2020*, Paris, Fransa.
- [9] Coal Facts, World Coal Association, <https://www.worldcoal.org/coal-facts/coal-mining/>, (Ekim, 2021).
- [10] Aktaş, M. (2011). Türkiye’de Kömür Madencilği ve Enerjideki Rolü. Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2011 Yılı Raporu, Ankara, Türkiye.
- [11] Yılmaz, M. (2012). Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.
- [12] Chen, H., Feng, Q., & Long, R. (2013). Focusing on coal miners’ occupational disease issues: a comparative analysis between China and the United States. *Safety Science*, 51, 217-222.
- [13] Derin, L., Varol, N., & Uymaz, S. (2017). Türkiye’deki kömür madeni kazalarına ilişkin değerlendirme. *Dirençlilik Dergisi*, 1(1), 47-53.
- [14] Wallis, W. D. (1988). *Combinatorial designs*, 1. Baskı, CRC Press, New York, USA, 179-207.
- [15] Johansson, B., Carlsson, A., Carlsson, M. L., Karlsson, M., Nilsson, M. K., Nordquist-Brandt, E., & Rönnbäck, L. (2012). Placebo-controlled cross-over study of the monoaminergic stabiliser (-)-OSU6162 in mental fatigue following stroke or traumatic brain injury. *Acta Neuropsychiatrica*, 24(5), 266-274.
- [16] Mehta, R. K., & Agnew, M. J. (2012). Effects of physical and mental demands on shoulder muscle fatigue. *Work*, 41 (1), 2897-2901.
- [17] Xue, Y., Zhao, H., Zhang, Y., Gao, Z., Zhai, D., Li, Q., & Zhao, G. (2021). Design and multi-objective optimization of the bumper beams prepared in long glass fiber-reinforced polypropylene. *Polymer Composites*, 42(6), 2933-2947.
- [18] Königs, M., Beurskens, E.A., Snoep, L., Scherder, E.J., & Oosterlaan, J. (2018). Effects of timing and intensity of neurorehabilitation on functional outcome after traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 99(6), 1149-1159.
- [19] Oberrauch, S., Sigrist, H., Sautter, E., Gerster, S., Bach, D. R., & Pryce, C. R. (2019). Establishing operant conflict tests for the translational study of anxiety in mice. *Psychopharmacology*, 236(8), 2527-2541.
- [20] Macedo, G. G., Batista, E. D. O. S., Santos, G. M. G. D., D’Occhio, M. J., & Baruselli, P. S. (2021). Estradiol Priming Potentiates the Kisspeptin-Induced Release of LH in Ovariectomized Cows. *Animals*, 11(5), 1236.
- [21] Craig, B. N. (2000). A prospective study of the relationship of potential personal, non-occupational, occupational, and psychosocial risk factors with occupational injury, Texas A&M University.
- [22] Önder, H., & Abacı, S. H. (2020). Determination of the factors affecting success in lesson of experimental design and analysis. *Black Sea Journal of Public and Social Science*, 3(1), 5-9.
- [23] Raju, A., Preethi, S. S., & M, Rajathi. (2021). Application of latin square design in the analysis of the effectiveness of four different traffic violation on road accidents: A study. *Compliance Engineering*, 12, 18-27.
- [24] Sharif, S., Liénard, E., Duvallet, G., Etienne, L., Mongellaz, C., Grisez, C., Franc, M., Bouhsira, E., & Jacquet, P. (2020). Attractiveness and Specificity of Different Polyethylene Blue Screens on *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). *Insects*, 11(9), 575.
- [25] Roque, B. M., Salwen, J. K., Kinley, R., & Kebreab, E. (2019). Inclusion of Asparagopsis armata in lactating dairy cows’ diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production*, 234, 132-138.
- [26] Çınar, D. (2019). Promosyonel ürünlerde yem etkisi: tüketici karar alım tarzları temelinde bir değerlendirme. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 2(2), 69-87.
- [27] Rangel-Peraza, J. G., Prado, M. A. R., Amabilis-Sosa, L. E., Bustos-Terrones, Y. A., & Ramírez-Pereda, B. (2020). Malathion Removal through Peroxi-Electrocoagulation and Photocatalytic Treatments. Optimization by Statistical Analysis. *International Journal of Electrochemical Science*, 15, 8253-8264.
- [28] Kojima, T., Oishi, K., Matsubara, Y., Uchiyama, Y., Fukushima, Y., Aoki, N., Sato, S., Masuda, T., Ueda, J., Hirooka, H., & Kino, K. (2019).

- Cows painted with zebra-like striping can avoid biting fly attack. *PLoS One*, 14(10), 0223447.
- [29] Mariana, D. (2018). Greco-Latin square design for selection of excipients in the development of metformin orodispersible tablets. *Asian Journal of Pharmaceutics*, 12(3).
- [30] Youssef, S. A. M., & Paik, J. K. (2018). Hazard identification and scenario selection of ship grounding accidents. *Ocean Engineering*, 153, 242-255.
- [31] Yıldırım, D.D., & Taşdelen, B. (2012). Deneysel araştırmalarda latin kare deneme düzenlerinin kullanımı. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(2), 1-6.
- [32] Hinkelmann, K., & Kempthorne, O. (2007). Design and analysis of experiments, Sayı 1: Introduction to experimental design, 2.baskı, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 373-414.
- [33] Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK), SGK İstatistik Yıllıkları, 2009-2019, Ankara, Türkiye.
- [34] ILOSTAT, (2021). Cases of fatal occupational injury by economic activity, <https://ilostat.ilo.org/data/>, (Ekim, 2021).
- [35] Zambon, I., Piergentili, A., Salvati, L., Monarca, D., Matyjas-Lysakowska, P., & Colantoni, A. (2018). Applied research for a safer future: Exploring recent job accidents in agriculture, Italy (2012–2017). *Processes* 2018, 6(87).
- [36] Yılmaz, F. (2014). Analysis of occupational accidents in construction sector in Turkey. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 1(5), 421-428.
- [37] Çilengiroğlu Vupa, Ö. (2019). Orantılı hazard varsayımının maden kazalarında istatistiksel olarak incelenmesi. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, 3(1), 33-52.
- [38] Ozay, M.E., & Coskun, S. (2017). Analysis of occupational health and safety data between 2003-2015 in Turkey. *Journal of Business Economics and Finance*, 6(4), 375-385.
- [39] Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J.M., & Vázquez-Ordás, C.J. (2018). Occupational accidents and the economic cycle in Spain 1994–2014. *Safety Science*, 106, 273-284.
- [40] Bayraktar, B., Uyguçgil, H., & Konuk, A. (2018). Türkiye Madencilik Sektöründe İş Kazalarının İstatistiksel Analizi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 57, 85-90.
- [41] Duarte, J., Baptista, J. S., & Torres Marques, A. (2019). Occupational accidents in the mining industry—a short review. *Occupational and Environmental Safety and Health*, 61-69.
- [42] Kholif, A.E., Gouda, G.A., Anele, U.Y., & Galyean, M.L. (2018). Extract of Moringa oleifera leaves improves feed utilization of lactating Nubian goats. *Small Ruminant Research*, 158, 69-75.
- [43] Pinna, C., Vecchiato, C.G., Bolduan, C., Grandi, M., Stefanelli, C., Windisch, W., Zaghini, G., & Biagi, G. (2018). Influence of dietary protein and fructooligosaccharides on fecal fermentative end-products, fecal bacterial populations and apparent total tract digestibility in dogs. *BMC Veterinary Research*, 14(1), 1-10.
- [44] Erginel, N., & Toptancı, Ş. (2017). İş Kazası Verilerinin Olasılık Dağılımları İle Modellenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5, 201-212.
- [45] Çavdar, U., Manyaslı, M., Akkaya, E., Sevener, D., & Tüfekçi, Z. (2022). Yaşanan İş Kazalarının Kaza Saatlerine ve Cinsiyete Göre İstatistiki Olarak Değerlendirilmesi ve Yorumlanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 360-368.
- [46] Sari, M., Selçuk, A.S., Karpuz, C., & Duzgun, H.S.B. (2009). Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey. *Safety Science*, 47, 78-87.
- [47] Khanzode, V.V., Maiti, J., & Ray, P.K. (2011). A methodology for evaluation and monitoring of recurring hazards in underground coal mining. *Safety Science*, 49, 1172-1179.
- [48] Onder, S. (2013). Evaluation of occupational injuries with lost days among opencast coal mine workers through logistic regression models. *Safety Science*, 59, 86-92.

Tannik Asit ile Güçlendirilmiş Poli(Vinil Alkol) Hidrojel Filmlerin Sentezi ve Karakterizasyonu

Synthesis and Characterization of Polyvinyl Alcohol Hydrogel Films Reinforced with Tannic acid

Celile DEMİRBİLEK BUCAK^{1*}, Merve OLUKMAN ŞAHİN¹

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Teknoloji ve Araştırma Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi, Tayfur Sökmen Kampüsü, 31000, Antakya, Hatay, Türkiye

Öz

Hidrojeller, kullanım alanlarının çeşitli olması nedeniyle fazlaca ilgi görmektedir. Bununla birlikte, mevcut hidrojellerin çoğu, mekanik enerjiyi dağıtmada ya da deformasyon altında yüksek gerilebilirliği korumada sınırlamaya sahiptirler. Bu nedenlerden dolayı yüksek mekanik etkilere sahip değildir. Bu çalışmada, yüksek mekanik özelliğe sahip poli(vinil alkol) (PVA)-tannik asit (TA) hidrojel filmleri, adım adım fiziksel çapraz bağlama ve doygun NaCl çözeltisinde 6 saat bekletilerek hazırlanmıştır. TA'nın birçok fonksiyonel gruba sahip olması PVA ile kolayca hidrojen bağı oluşturmasına sebep olmuştur. Bu hidrojen bağları sentezlenen PVA/TA hidrojel filmlerinin mekanik özelliklerinin daha iyi olması anlamına gelmektedir. Çeşitli oranlarda TA eklenmesi ile sentezlenen PVA bazlı hidrojel filmler FTIR analizi ile karakterize edilerek, şişme davranışları, denge su içerikleri, morfolojik özellikleri, XRD kırınım desenleri, termal özellikleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir. TA oranı arttıkça şişme oranının ve denge su içeriğinin düştüğü, termal özelliklerinin iyileştiği, sertlik özelliklerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hidrojel film, PVA, Tannik asit

Abstract

Hydrogels attract a lot of attention due to the variety of uses. However, most existing hydrogels do not have high mechanical effects due to limitations in dissipating mechanical energy or maintaining high tensile strength under deformation. In this study, poly(vinyl alcohol) (PVA)-tannic acid (TA) hydrogel films with high mechanical properties were prepared step by step by physical crosslinking and soaking in saturated NaCl solution for 6 hours. The fact that TA has many functional groups caused it to easily form hydrogen bonds with PVA. These hydrogen bonds mean that the mechanical properties of the synthesized PVA/TA hydrogel films are better. PVA-based hydrogel films synthesized by adding various amounts of TA were characterized by FTIR analysis, and their swelling behavior, equilibrium water content, morphological properties, XRD diffraction patterns, thermal properties and mechanical properties were investigated. It was observed that as TA ratio increased, swelling ratio and equilibrium water content decreased, thermal properties improved, and hardness properties decreased.

Keywords: Hydrogel film, PVA, Tannic acid

I. GİRİŞ

En önemli yumuşak malzemelerden biri olan hidrojeller, doku mühendisliği, ilaç dağıtımı, sensör, aktüatör, vb. dahil olmak üzere modern teknolojilerde yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Hidrojeller, hidrofilik fakat suda çözünmeyen formda çapraz bağlı polimer yapılarıdır. Ayrıca üç boyutlu bir ağ yapısına sahiptirler ve büyük miktarda suyu emebilirler. Polimerize hidrojeller, partiküller, filmler, membranlar, boncuklar, çubuklar ve emülsiyonlar dahil olmak üzere birçok farklı formda sentezlenebilir. İnce film olarak hazırlandığında, bir substrat yüzeyini işlevselleştirmek için kullanılabilirler ve dış uyaranlara karşı benzer malzemelere göre daha hızlı tepki süreleri sergilerler. Bu da onları diğer hidrojel formlarına göre üstün kılmaktadır [2].

Sert ve kırılğan polimerik malzemelerle karşılaştırıldığında, hidrojeller yumuşak ve deforme olabilmesi nedeniyle geniş alanda ilgi görmüştür. Amorf polimer zincirleri hidrojelere yüksek esneklik veya "yumuşaklık" kazandırdığından, genellikle pratik uygulamaları engelleyen düşük mekanik performanslara yol açarlar. Son yıllarda, hidrojellerin mekanik gücünü artırmak için önemli çabalar sarf edilmiştir. Hibrit kimyasal eklenmesi, fiziksel hidrojel oluşturulması ya da kompozit karışımlar bu çabalara örnektir [3].

Polivinil alkol (PVA), toksik olmama, biyouyumluluk ve yüksek hidrofilik olma gibi üstün özellikleri nedeniyle biyomedikal uygulamalar başta olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmak amacıyla hidrojel hazırlamak için

Sorumlu yazar: Celile DEMİRBİLEK BUCAK, Tel: 0(326)2213317-17780, e-posta: celiledemirbilek@gmail.com

Gönderilme: 19.03.2022, **Düzenleme:** 23.07.2022, **Kabul:** 23.07.2022

yaygın olarak kullanılan sentetik bir polimerdir [4]. Bununla birlikte, PVA hidrojelleri mekanik dayanımlarının az olması ya da sınırlı biyoaktiviteye sahip olmaları gibi uygulama alanlarını kısıtlayan bazı dezavantajlara sahiptir [5]. Bu nedenle, saf PVA hidrojellerinin bu bahsedilen dezavantajlarından kurtulmak için PVA bazlı kompozit hidrojellerin geliştirilmesi çok önemlidir. PVA hidrojellerinin mekanik dayanımlarını geliştirmenin yanı sıra hidrojele yeni üstün özellikler kazandırmak için PVA polimeri ile çeşitli polimerlerin ya da daha farklı malzemelerin karışımları ile yeni hidrojeller oluşturulmaktadır.

Bitki türevi olan suda kolayca çözünebilir bir polifenol olan Tannik asit (TA), kırmızı şarapta, çayda, üzümde ve çikolatada bolca bulunabilir [3]. Kimyasal yapısında birçok fonksiyonel grubun bulunması nedeniyle çeşitli polimerler ile hidrojen bağı oluşturma kapasitesi yüksektir [6]. Bu nedenle PVA ve TA arasında çapraz bağlanmaya neden olabilecek çoklu ve güçlü hidrojen bağları oluşturabilir. TA-bazlı materyaller, fizyolojik koşullar altında oldukça kararlı oldukları ve toksik olmadıkları için biyomedikal ve diğer alanlarda umut verici uygulamalara sahiptirler [7].

Bu çalışmada PVA'nın hazırlanan sulu çözeltisine TA eklenerek öncelikle homojen bir çözelti oluşturulmuştur. Homojen çözelti, petri kabına dökülmüş ve 45 °C'da kurutulmuş ince film haline getirilmiştir. Hidrojel filmler NaCl çözeltisine batırıldığında, polimer zincirleri arasında tuzlu su kaynaklı fiziksel etkileşimler oluşur. Bu etkileşimler filme uygulanan enerjiyi etkin bir şekilde emmek ve büyük deformasyona dayanmak için kullanılır. Bu da iyi mekanik performanslar sergileyen filmlerin oluşturulmasını sağlar. Filmler, tuz çözeltisine değil de saf suya batırıldığı zaman oluşan etkileşimlerin ayrışması nedeniyle filmler dağılmaktadır. Sentezlenen filmlerin yapısı Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (FTIR), Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), Taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-Kırınım desenleri (XRD), Diferansiyel Termal Termogravimetrik (DTG) teknikleri ile karakterize edilerek şişme özellikleri incelenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Polivinil alkol (PVA) (M_w : 50000-85000 g/mol; %98,0-%98,8) ve Tannik asit (TA) (%95) ACROSS firmasından temin edilmiştir. NaCl Merck firmasından satın alınmıştır.

2.2. PVA/TA bazlı hidrojel filmlerin sentezlenmesi

PVA çözeltisi (%13), PVA'nın 80 ± 5 °C sıcaklıkta 24 saat saf suda manyetik karıştırıcı ile karıştırılması ile hazırlanmıştır. Hazırlanan PVA çözeltisinden 20 mL alınarak belirli oranlarda tartılan TA'ya (PVA'nın %

20-80'i olacak şekilde) eklenerek 12 saat boyunca karıştırılmıştır. Homojen PVA/TA karışımı petri kabına aktarılmıştır. 45 °C'de 24 saat tutularak kurutulmuştur. Kurutulan ön hidrojel filmleri, doymuş NaCl çözeltisinde 6 saat bekletilmiştir. Tuz çözeltisinden alınan hidrojel filmler bol saf su ile yıkanarak fazla tuz uzaklaştırılmış ve +4 °C'da analizleri yapılmak üzere bekletilmişlerdir. Tuz etkisinin önemini açıklamak için bazı filmler saf suya daldırılmıştır.

2.3. Hidrojel Filmlerin Şişme Davranışları ve Denge Su İçerikleri

Şişme çalışmaları 25 °C'da yaklaşık 0,1 g film kullanılarak saf suda gravimetrik olarak gerçekleştirilmiştir. Suya konulan filmler belirli zaman aralıklarında alınarak, nemli yüzeyi filtre kâğıdı ile temizlenmiş ve ağırlıkları not edilmiştir. Şişme değerleri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S = \frac{(w_t - w_0)}{w_0} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Burada; w_0 , hidrojinin kuru ağırlığı (başlangıç ağırlığı) ve w_t , belirli bir zamanda (t) şişmiş jelin ağırlığıdır.

Hidrojel filmlerin denge su içerikleri (Sİ) Eşitlik 2 kullanılarak belirlenmiştir.

$$Sİ = \frac{(w_w - w_d)}{w_d} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Burada; w_w , Hidrojel filmlerin hazırlanırken kurutulmadan önceki ağırlığı ve w_d , kurutulduktan sonraki ağırlığıdır.

2.4. PVA/TA Hidrojel Filmlerin Karakterizasyonu

PVA, TA ve PVA/TA hidrojel filmlerin, FTIR spektrumları 400-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında ATR tekniği kullanılarak alınmıştır (SHIMADZU IRAffinity1S). DSC (Mettler Toledo/DSC 1 STARE System) ve TGA (METTLER TOLEDO/TGA 1 STARE System) cihazları ile hidrojel filmlerin ısı özellikleri belirlenmiştir. Malzemelerin sertlik ve elastisite modülü değerleri, Berkovich ucu ile donatılmış bir Hysitron TI 950 TriboIndenter nanoindenter kullanılarak ölçülmüştür. Testler, 500 μN pik yük altında 2 x 1 analiz matrisi kullanılarak Oliver-Pharr analiz yöntemine göre yapılmış ve ortalama değer olarak sunulmuştur.

III. TARTIŞMA VE SONUÇ

3.1. PVA/TA Hidrojel filmlerin sentezi

PVA ve TA konjugatlarının oluşması ve bunların kolayca jelleşmesi, PVA ve TA arasında güçlü etkileşimler olduğunu göstermektedir. TA, 25 hidroksil ve 10 karbonil grubuna sahiptir. Bu sebeple birçok hidroksil grubuna sahip PVA zincirleri ile hidrojen bağı oluşturma yeteneği oldukça fazladır

(Şekil 1). Bu nedenle, PVA'ya TA moleküllerinin eklenmesi, PVA zincirleri arasında daha fazla ve daha güçlü hidrojen bağı oluşumunu sağlamıştır. Başka bir deyişle, PVA/TA hidrojel filmleri, güçlü fiziksel çapraz bağlama noktaları olarak işlev gören PVA ve TA arasındaki hidrojen bağı yoluyla oluşturulmaktadır [6]. PVA/TA hidrojel filmlerin sentezinde, dayanıklılığı arttırmak için filmler doygun NaCl çözeltisinde 6 saat bekletilmiştir. Tuz etkisini açıklamak için bazı filmler saf suda 6 saat bekletilmiştir. Suda bekletilen filmler dayanıksız ve kırılğan özellik gösterirken, doygun NaCl çözeltisinde bekletilen filmlerin daha dayanıklı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca tuz çözeltisinden alınan filmler, yüzeydeki aşırı tuzun giderilmesi amacıyla saf suda bekletilmiş ve mekanik özelliklerinin değişmediği gözlenmiştir. Şekil 2'de kuru ve saf suda bekletilen hidrojel filmler (TA60) görülmektedir. Buna göre kuru hidrojel filmler daha kırılğan yapıdadır. Saf suda bekletilen hidrojel filmler daha esnek ve yumuşak yapıdadır.

3.2. Hidrojel Filmlerin Şişme Davranışları ve Denge Su İçerikleri

Denge su içeriği, hidrojellerin yapıları ve mekanik özelliklerini açıklamada çok önemli bir parametredir. Düşük su içeriği genellikle daha yoğun ve daha küçük gözenek yapısı anlamına gelir. Şekil 2'den görülebildiği gibi hidrojel filmlerde TA içeriği arttıkça denge su içeriği azalmaktadır. Buna göre TA80 hidrojelinin en yoğun ve küçük gözeneğe sahip olduğu söylenebilir (Şekil 3).

Hidrojellerin yapısal özelliklerini daha iyi açıklayabilmek için PVA bazlı film hidrojellerin denge şişme dereceleri de ölçülmüştür. Şişme sonuçlarına göre, hidrojel filmlerin maksimum şişme yüzdeleri 164-103 değerleri arasında değişmektedir. Filmlerde TA oranı arttıkça, yapı daha yoğun olduğu ve hidrojen bağları etkisini daha fazla gösterdiği için şişme oranı azalmıştır. (Şekil 4).

3.3. FTIR Sonuçları

PVA ve TA bazlı hidrojel filmlerin doğasını anlayabilmek için, PVA, TA, TA20, TA40, TA60 ve TA80 örneklerinin FTIR spektrumları alınmış, sonuçları Tablo 1 ve Şekil 5'te sunulmuştur. TA spektrumunda, 3333 cm^{-1} civarında gözlenen geniş pik -OH gerilmesini, 1705 cm^{-1} 'de gözlenen pik karboksil karbonunu, $1605\text{-}1528\text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler aromatik halkadaki -C=C- bağlarını, 1443 cm^{-1} 'deki aromatik -C-C- bağlarını, 1312 cm^{-1} 'de fenol grubuna ait titreşimleri, $872\text{-}756\text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler ise aromatik C-H bağlarına aittir [8]. PVA ve TA bazlı hidrojel filmlerin FTIR spektrumlarına bakıldığında, hidroksil grubu piklerinin $3279\text{-}3325\text{ cm}^{-1}$ 'e doğru kayması, fenol grubuna ait titreşimlerin $1327\text{-}1319\text{ cm}^{-1}$ 'e doğru kayması TA ile PVA arasında oluşan yoğun hidrojen bağları ile açıklanabilir [9]. TA20-80 hidrojel

filmlerinde PVA ve TA'da olmayan $2924\text{-}2855\text{ cm}^{-1}$ titreşimleri iki molekül arasında yeni fiziksel etkileşimler olduğunu göstermektedir. Ayrıca hidrojel filmlerde TA oranı arttıkça, aromatik halkalara özgü bantların şiddetinin ve iki molekül arası H-bağı yoğunluğunun arttığı söylenebilir.

3.4. TGA Sonuçları

Çeşitli oranlarda hazırlanan PVA/TA hidrojel filmlerinin termal kararlılığı, termogravimetrik analiz (TGA) ve türev termogravimetrik analiz (DTG) yoluyla incelenmiştir. Şekil 6'da gösterildiği gibi, tüm numuneler, fiziksel ve kimyasal olarak bağı suyun buharlaşması ile açıklanan, $100\text{-}150\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında ihmal edilebilir bir ağırlık kaybı göstermektedir [10].

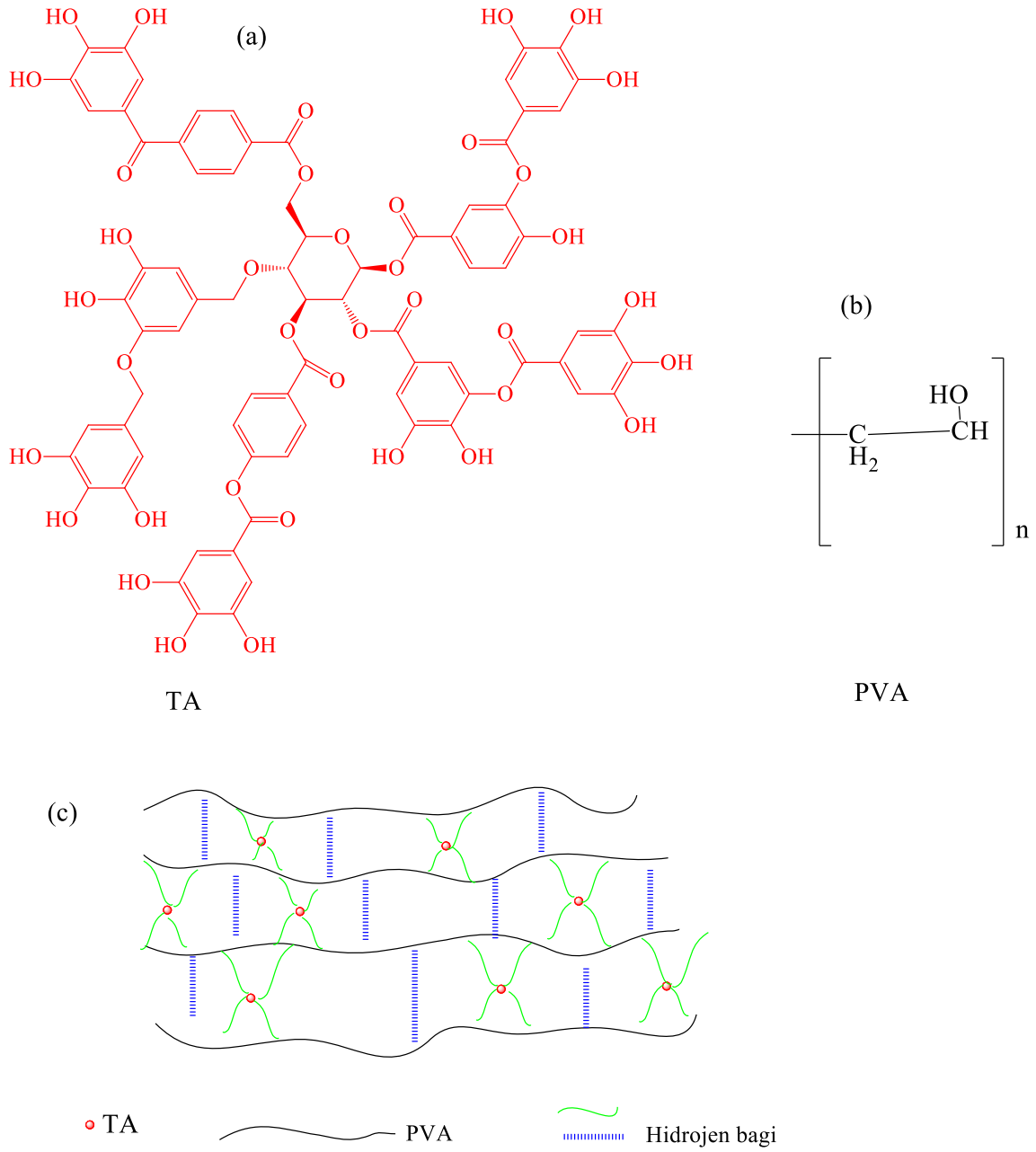
Saf PVA'nın DTG eğrisi, üç bozunma adımıyla ilişkili kütle kaybına karşılık gelen üç farklı tepe noktası göstermiştir. İlk bozunma noktası ($283\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve ikinci bozunma noktası ($450\text{ }^{\circ}\text{C}$), PVA'nın yan zincirlerinden uçucu ürünlerin oluşumu ile ayrışması olarak açıklanırken, üçüncü bozunma noktası ($693\text{ }^{\circ}\text{C}$) PVA'nın ana zincirlerinin ayrışması olarak tanımlanabilir. Xi ve ark., (2015)'e göre TA için, yaklaşık %49'luk en yüksek ağırlık kaybı $170\text{-}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da gözlenmiştir. PVA/TA hidrojel filmlerinin ise başlangıç bozunma sıcaklığının arttığı ve yaklaşık $300\text{-}350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a ulaştığı gözlenmiştir. Ayrıca, TA80 hidrojel filminin maksimum bozunma sıcaklığı ($320\text{ }^{\circ}\text{C}$), saf PVA'nın ilk bozunma sıcaklığından $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha fazladır. Bu sonuçlar, PVA ve TA'nın hidroksil gruplarından, PVA'nın yan zincirlerinin bozulmasını etkili bir şekilde baskılayan hidrojen bağı oluşumuna bağlanabilir. Bu hidrojen bağları, PVA/TA hidrojel filmlerinin termal kararlılığının önemli ölçüde iyi olmasına neden olmaktadır (Şekil 7).

3.5. DSC Sonuçları

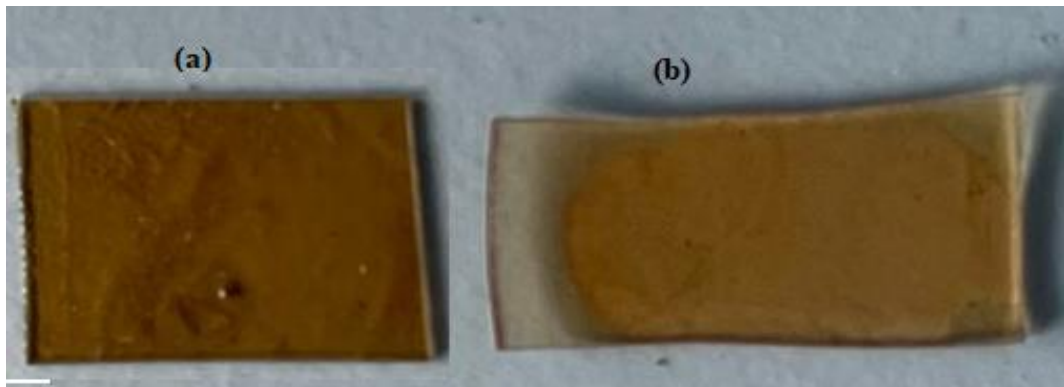
DSC analizi, hidrojen bağının PVA/TA hidrojel filmlerin kristalleşme davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak için etkili bir yöntemdir. DSC termogramlarından hesaplanan hidrojel filmlere ait camı geçiş sıcaklıkları ve kristalinite dereceleri Şekil 8'da görülmektedir. Saf PVA polimerinin camı geçiş sıcaklığı (T_g) $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. TA20 $96\text{ }^{\circ}\text{C}$; TA40 $98\text{ }^{\circ}\text{C}$; TA60 $108\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve TA80 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, hidrojen bağının güçlü etkileşimlerinin, PVA zincir bölümlerinin hareketliliğini kısıtladığını ve moleküler zinciri sert olma eğilimine getirdiği ve PVA/TA hidrojel filmlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesini sağladığını göstermiştir [11].

3.6. Yüzey Morfolojisi

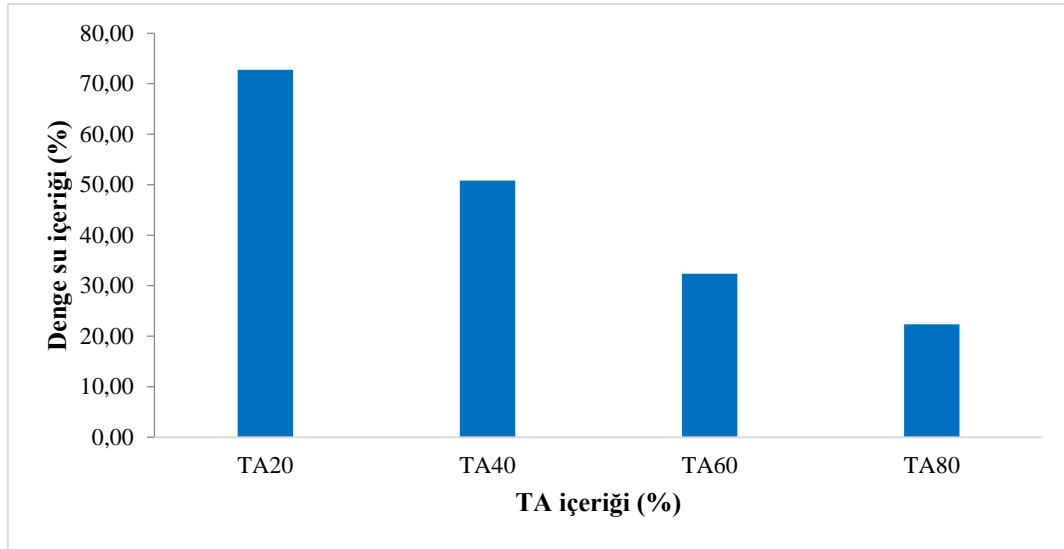
TA20-TA80 hidrojel filmlerinin yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu kullanılarak araştırılmış ve sonuçlar Şekil 9'da sunulmuştur. Tüm mikrograflar hidrojel filmlerin gözeneksiz yapıda olduğunu göstermektedir.



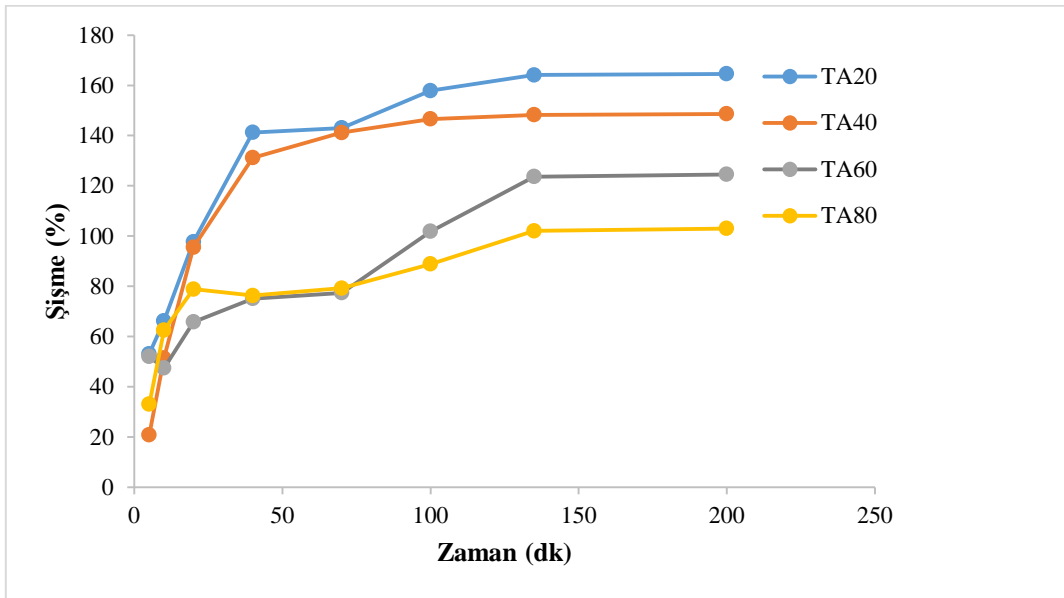
Şekil 1. TA (a), PVA (b), PVA ve TA arasında hidrojen bağı nedeniyle oluşan çapraz bağlanma mekanizması (c)



Şekil 2. Kuru (a) ve saf suda bekletilmiş (b) TA60 hidrojel filmlerin görüntüleri.



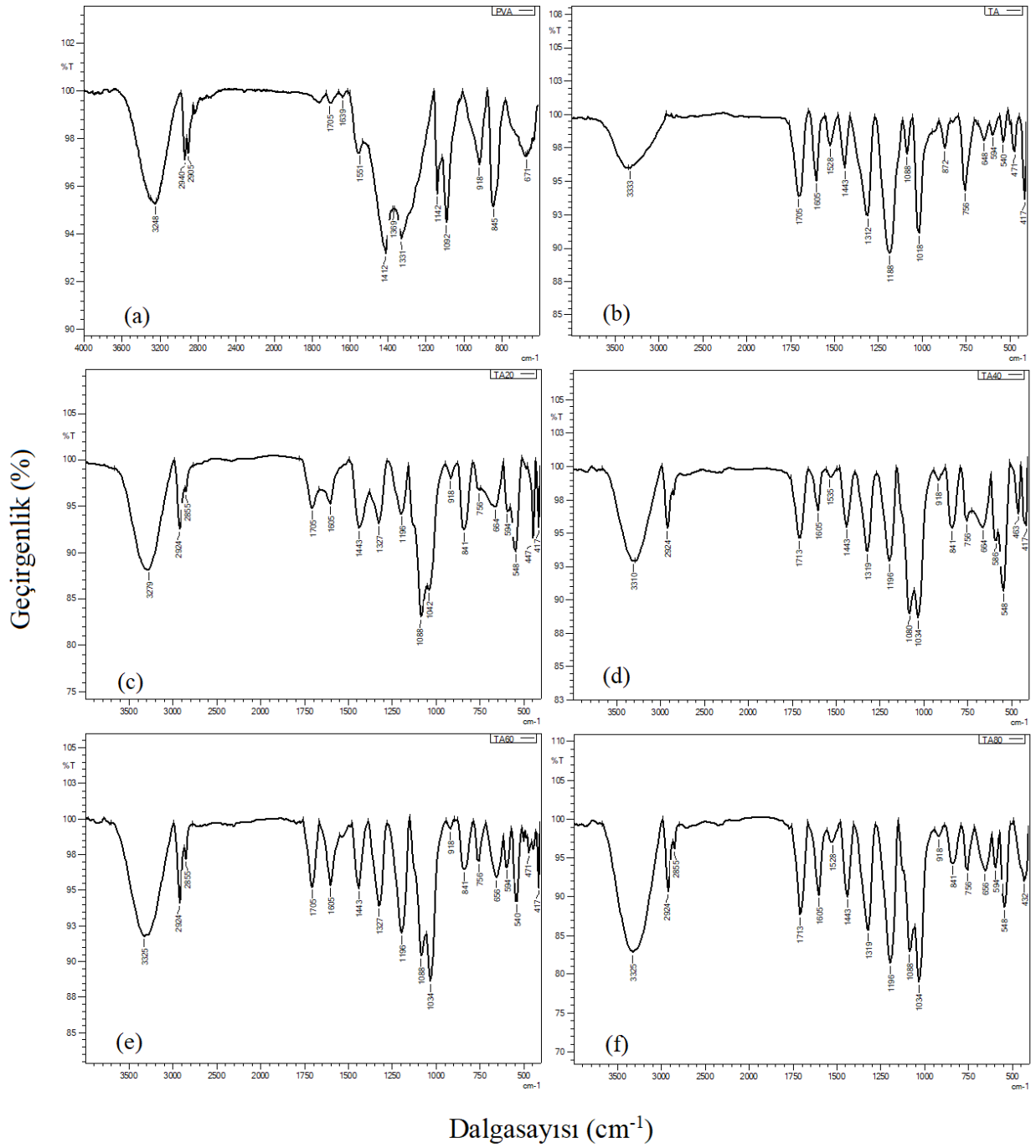
Şekil 3. Farklı oranlarda TA içeren PVA/TA hidrojel filmlerinin % denge su içerikleri.



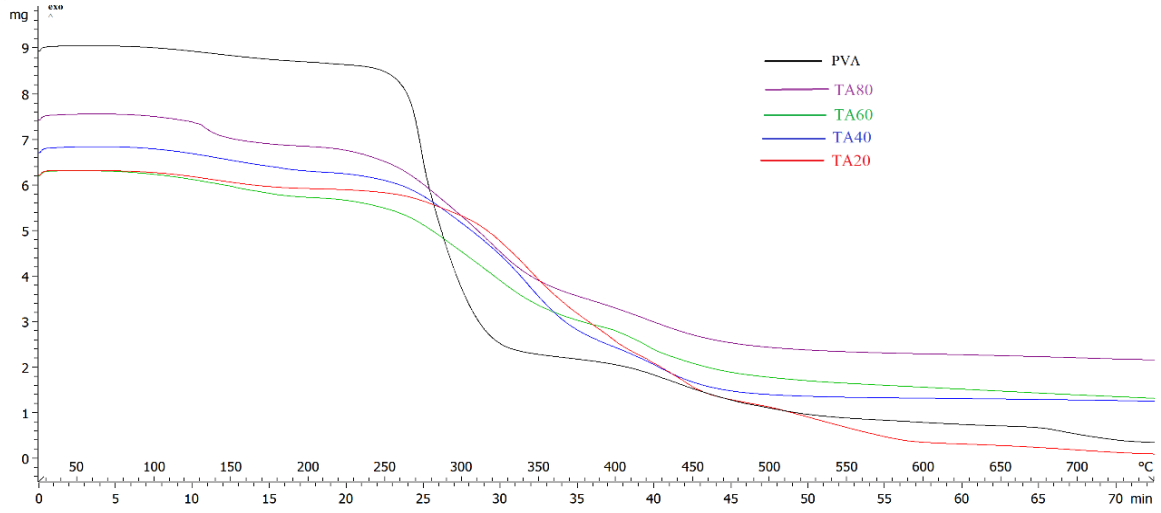
Şekil 4. Hidrojel filmlerin şişme davranışları ve maksimum şişme değerleri (%)

Tablo 1. PVA, TA ve PVA/TA Filmlerinin ayrıntılı FTIR spektrumları

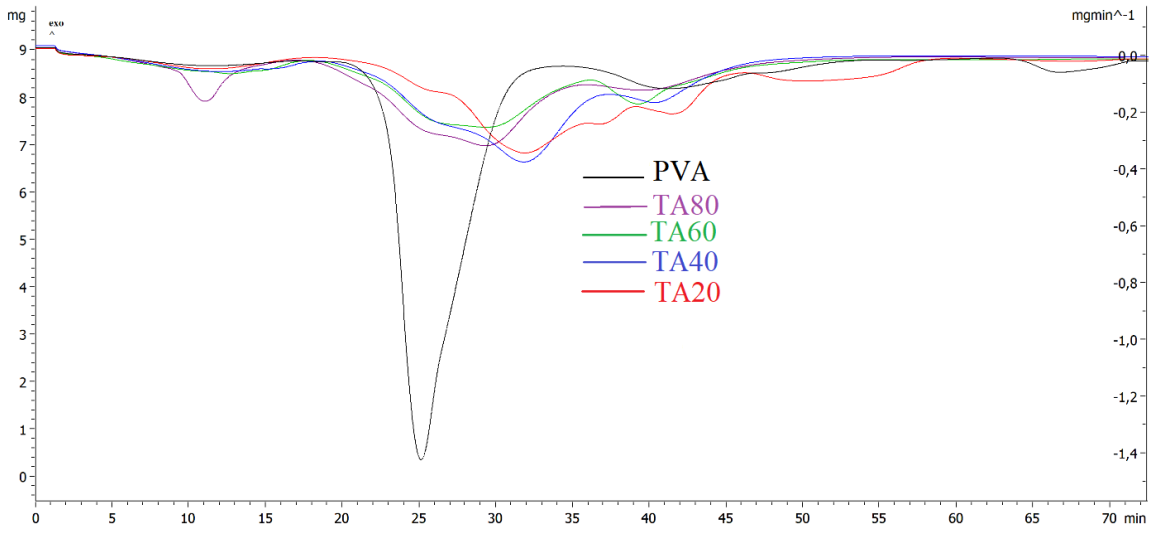
		Dalga Sayısı, cm^{-1}				Fonksiyonel grup
PVA	TA	TA20	TA40	TA60	TA80	
3341	3333	3279	3370	3325	3325	-OH ve H-bağı
-		2924-2855	2924-2855	2924-2855	2924-2855	C-H gerilmesi
1748	1705	1705	1713	1705	1713	C=O
-	1605-1528	1605-1523	1605-1535	1605-1521	1605-1523	Aromatik -C=C-
-	1443	1443	1443	1443	1443	Aromatik -C-C-
-	1312	1327	1319	1327	1319	Fenol grubu
-	872-756	841-756	841-756	841-756	841-756	Aromatik -C-H



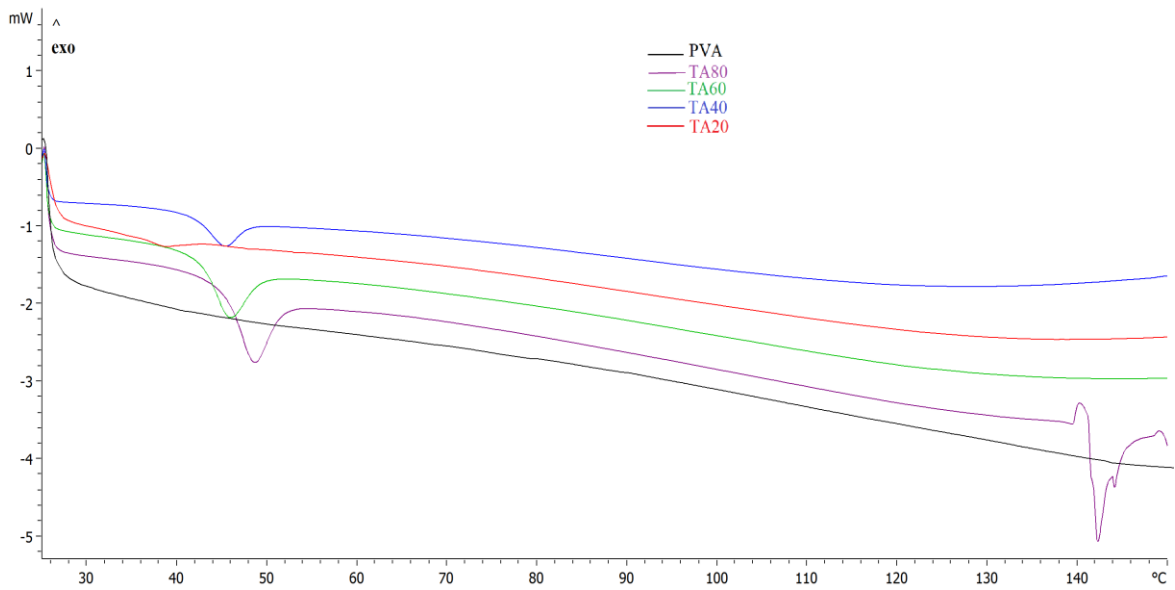
Şekil 5. (a) PVA, (b) TA, (c) TA20, (d) TA40, (e) TA60, (f) TA80 hidrojel filmlere ait FTIR spektrumları.



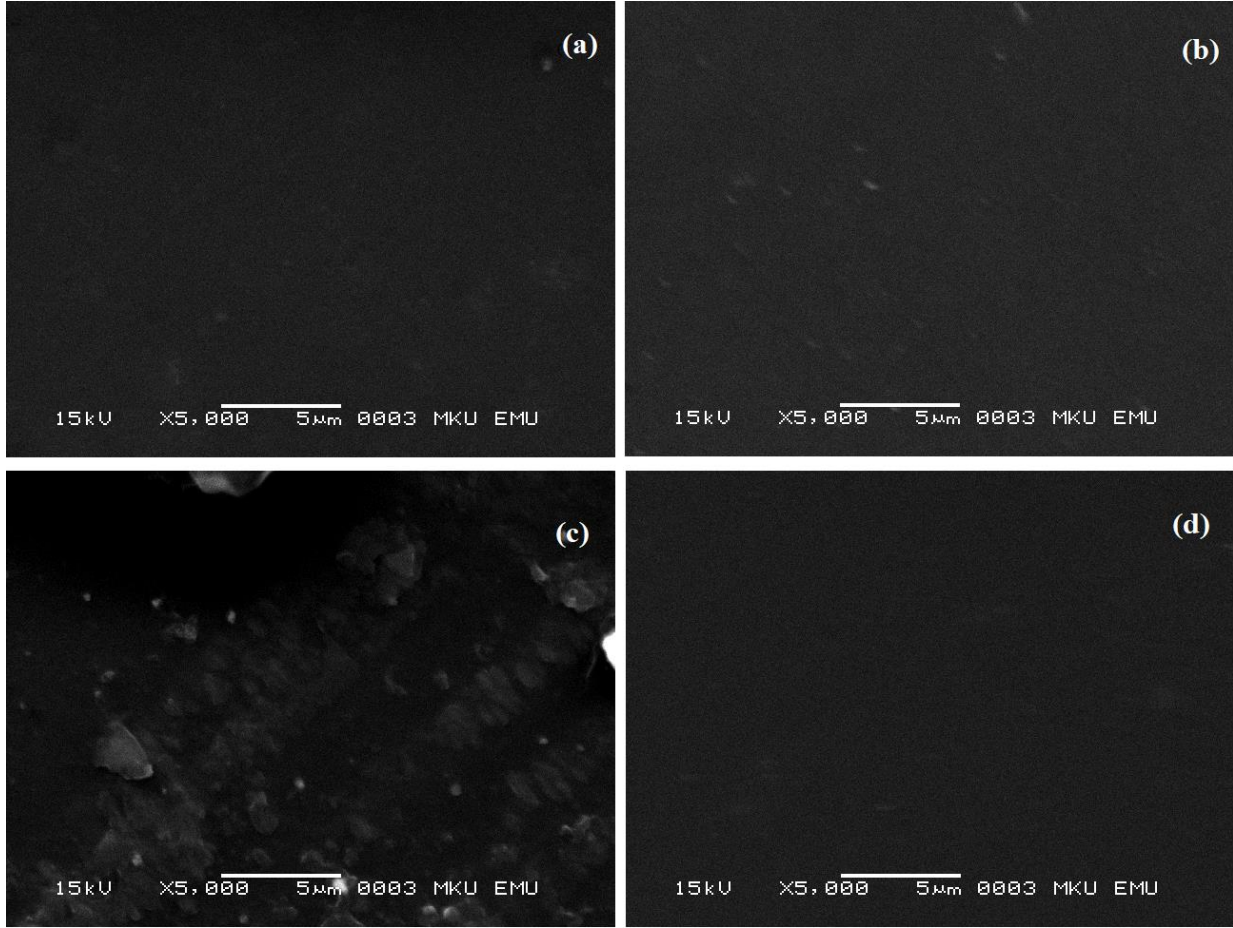
Şekil 6. Hidrojel filmlerin TGA termogramları.



Şekil 7. Hidrojel filmlerin DTG Sonuçları.



Şekil 8. Hidrojel filmlerin DSC termogramları.



Şekil 9. TA20 (a), TA40 (b), TA60 (c) ve TA80 (d)'a ait SEM mikrografları (x5000).

3.7. XRD Kırınım Desenleri

PVA, yarı kristal bir polimerdir ve PVA'nın kristallik derecesi, mekanik özellikleri için çok önemli bir faktördür [12]. TA eklenmesinin PVA filmleri kristallığı üzerindeki etkisini karakterize etmek için XRD desenleri kullanıldı. Filmlerin XRD desenlerinde TA20 $2\theta=19,15$ ve $40,64$; TA40 $2\theta=19,20$ ve $40,70$; TA60 $2\theta=19,98$ ve $40,60$; TA80 $2\theta=20,32$ ve $40,72$ şeklinde ikişer pik gözlenmiştir. Farklı oranlarda TA eklenmesinin yapının kristallik derecesini etkilemediği gözlenmiştir. **3.8. Sertlik Test Sonuçları** Nanoindent tekniği, ince filmlerin ve çok küçük ölçeklerdeki malzemelerin bile mekanik davranışlarının incelenmesinde standart bir yöntem haline gelmiştir [13]. Bu yöntem kullanılarak sentezlenen hidrojel filmlerin elastisite modülü ve sertlik değerleri hesaplanmıştır. Buna göre, 7,02 GPa değeri ile en yüksek elastisite modülüne sahip olan TA20 hidrojel filmi aynı zamanda 0,33 GPa değeri ile en yüksek sertlik değerine sahiptir. Tablo 2'den çıkarılacak sonuç hidrojel filmlerde TA oranı arttıkça elastisite modülünün ve sertlik değerinin düştüğüdür. Bu sonuç, TA oranının artmasının hidrojel filmlerde plastikleştirici etki yaptığı ve sertlik değerlerinin düşmesi ile açıklanabilir.

Tablo 2. PVA/TA hidrojel filmlerin elastisite modülü ve sertlik değerleri

Örnek	E (Elastisite modülü) GPa	H (Sertlik) GPa
TA20	7,02	0,33
TA40	4,46	0,31
TA60	3,95	0,26
TA80	0,25	0,02

IV. SONUÇ

Bu çalışmada çeşitli oranlarda TA içeren PVA bazlı hidrojel filmler sentezlenmiştir. Hidrojel filmlerin sentezi iki adımda gerçekleştirilmiştir. Sentezin ilk adımında farklı oranlarda TA, PVA çözeltisi ile karıştırılmıştır. Homojen bir şekilde karışan film ön çözeltisi petri kaplarına dökülmüş ve $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da bir gece bekletilmiştir. Etülden alınan filmler, doymuş NaCl çözeltisinde 6 saat bekletilerek mekanik dayanımı yüksek filmler oluşturulmuştur. Tuz etkisini daha iyi açıklayabilmek için saf suya batırılan filmlerin dağıldığı ve kuruyunca oldukça kırılğan yapıda olduğu gözlenmiştir. PVA bazlı filmlere TA eklenmesinin saf PVA polimerine göre termal ve sertlik özellikleri iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Bu çalışmada herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Larson, C., Peele, B., Li, S., Robinson, S., Totaro, M., Beccai, L., ... & Shepherd, R. (2016). Highly stretchable electroluminescent skin for optical signaling and tactile sensing. *Science*, 351(6277), 1071-1074.
- [2] Durney, A. R., Kawaguchi, S., Pennamon, G., & Mukaibo, H. (2014). Polymeric hydrogel thin film synthesis via diffusion through a porous membrane. *Materials Letters*, 133, 171-174.
- [3] Chen, W., Li, N., Ma, Y., Minus, M. L., Benson, K., Lu, X., ... & Zhu, H. (2019). Superstrong and tough hydrogel through physical cross-linking and molecular alignment. *Biomacromolecules*, 20 (12), 4476-4484.
- [4] Feng, X., Hou, X., Cui, C., Sun, S., Sadik, S., Wu, S., & Zhou, F. (2021). Mechanical and antibacterial properties of tannic acid-encapsulated carboxymethyl chitosan/polyvinyl alcohol hydrogels. *Engineered Regeneration*, 2, 57-62.
- [5] Kamoun, E. A., Kenawy, E. R. S., & Chen, X. (2017). A review on polymeric hydrogel membranes for wound dressing applications: PVA-based hydrogel dressings. *Journal of advanced research*, 8 (3), 217-233.
- [6] Chen, Y. N., Peng, L., Liu, T., Wang, Y., Shi, S., & Wang, H. (2016). Poly (vinyl alcohol)-tannic acid hydrogels with excellent mechanical properties and shape memory behaviors. *ACS applied materials & interfaces*, 8(40), 27199-27206.
- [7] Shin, M., Ryu, J. H., Park, J. P., Kim, K., Yang, J. W., & Lee, H. (2015). DNA/tannic acid hybrid gel exhibiting biodegradability, extensibility, tissue adhesiveness, and hemostatic ability. *Advanced Functional Materials*, 25(8), 1270-1278.
- [8] Liang, X., Cao, K., Li, W., Li, X., McClements, D. J., & Hu, K. (2021). Tannic acid-fortified zein-pectin nanoparticles: Stability, properties, antioxidant activity, and in vitro digestion. *Food Research International*, 145, 110425.
- [9] Muhoza, B., Xia, S., & Zhang, X. (2019). Gelatin and high methyl pectin coacervates crosslinked with tannic acid: The characterization, rheological properties, and application for peppermint oil microencapsulation. *Food Hydrocolloids*, 97, 105174.
- [10] Yang, M., Guo, W., Liu, S., Zhang, B., Chen, Y., & Wang, Y. (2021). Highly stretchable gamma-irradiated poly (vinyl alcohol)/Tannic acid composite hydrogels with superior transparency and antibacterial activity. *Journal of Polymer Research*, 28 (11), 1-13.
- [11] Qua, E. H., Hornsby, P. R., Sharma, H. S., Lyons, G., & McCall, R. D. (2009). Preparation and characterization of poly (vinyl alcohol) nanocomposites made from cellulose nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 113 (4), 2238-2247.
- [12] Guan, Y., Shao, L., Dong, D., Wang, F., Zhang, Y., & Wang, Y. (2016). Bio-inspired natural polyphenol cross-linking poly (vinyl alcohol) films with strong integrated strength and toughness. *RSC advances*, 6 (74), 69966-69972.
- [13] Aslan, N., Başman, N. & Uzun, O. (2016). Investigation of Optical, Morphological and Mechanical Properties of Diamond-Like Carbon Films Synthesized by Electrodeposition Technique Using Formic Acid. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 2 (2), 57-63.

FDY İplikler Kullanılarak Üretilen Tekstil Yüzeylerinin Akustik Performanslarının İncelenmesi

Examining Acoustic Performance of Textile Surfaces Produced by Using FDY Yarns

Beyzanur ERDAL¹ , Erhan SANCAK¹ 

¹ T.C. Marmara Üniversitesi, Recep Tayyip Erdoğan Külliyesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Maltepe/ İstanbul

Öz

Gürültü, insan sağlığını tehdit eden günümüzün önemli sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Gürültü her ne kadar öznel bir tabir olsa da belli başlı sesler herkes tarafından gürültü olarak algılanmaktadır. Endüstriyel gürültü buna örnek olarak gösterilebilmektedir. İnsanların gürültüden etkilenmelerini en az seviyeye indirebilmek ve gürültü kirliliğini önlemek amacıyla özel materyaller kullanılmaktadır. Bu materyallere, gözenekli materyaller arasında yer alan köpük ve tekstil malzemeleri örnek olarak verilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, tekstil sektöründe en çok kullanım oranına sahip olan polyester lifleri kullanılmıştır. Polyester liflerinden elde edilen ipliklerden çözümlü örme kumaş üretilip empedans tüp metoduyla ses yutum katsayısı tespit edilmiştir. Polyester iplikte 7 (yedi) farklı lif enine kesit şekli kullanılmıştır. Kullanılan ipliklerin bütün özellikleri aynı olup tek değişken parametre lif enine kesit şekilleridir. Üretimi gerçekleştirilen çözümlü örme kumaşların ise desenleri her kesitte aynıdır. İki farklı sıra sıklığı kullanılarak üretilen kumaşların ses yutum katsayısının tayini, empedans tüp metoduyla gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polyester İplik, Çözümlü Örme Teknolojisi, Akustik, Empedans Tüp Metodu, Akustik Tekstiller

Abstract

Noise is one of the crucial problems of today that threatens human health. Although noise is a subjective term, certain sounds are perceived by everyone as noise. Industrial noise can be cited as an example. Particular materials are used to minimize people's noise exposure and, to prevent noise pollution. Examples of these materials include foam and textile materials, which are among the porous materials. Within the scope of this study, polyester fibers with the highest usage rate in the textile industry were used. Warp knitted fabric was produced from the yarns obtained from polyester, and the sound absorption coefficient was determined by the impedance tube method. The polyester yarn has 7 (seven) different fiber cross-sectional shapes. All the properties of the yarns used are the same, and the only variable parameter is fiber cross-sectional shapes. The patterns of the manufactured knitted fabrics are the same in each cross-section shapes. Determination of the sound absorption coefficient of fabrics produced using two different line tightness; was carried out by the impedance tube method.

Keywords: Polyester Yarn, Warp Knitting Technology, Acoustic, Impedance Tube Method, Acoustic Textile

I. GİRİŞ

Gürültü, farklı frekanslara sahip olan seslerin harmonik olmayan bir şekilde ortama yayılmasıdır [1]. Gürültü kişiden kişiye göre değişebilen bir olaydır. Bazı kişilere gürültü olarak gelmeyen herhangi bir ses, bir başka insan tarafından gürültü olarak algılanabilmektedir.

Gürültünün, ses emici olan materyallerin kullanımı ile azaltılması veya kontrol altında tutulması mümkündür. Bu materyaller, ortama yayılan ses enerjisini azaltmakta ve yayılmasını engelleyebilmektedir [2]. Gürültü kontrolü için kullanılan tekstil materyalleri gözenekli materyaller sınıfına girmektedir.

Garai ve Pompoli [3], farklı çaplara sahip polyester lifleri ile deneysel bir modelleme yaparak, polyester lifinin akustik empedansını, ses akış direnci ve yutum performansını iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Sonuç olarak teorik hesaplama ile deneysel modelleme uyumluluk göstermiştir. Li [4], çalışmasında dokunmamış kumaşlarda kalınlığın etkilerini ölçmeyi amaçlamış ve sonuç olarak kalınlığın ses yutum performansına etkileri olduğunu bildirmiştir. Taşcan ve Vaughn [5], farklı incelik ve farklı kesitlere sahip polyester lifleriyle dokunmamış yüzey üretilen ses yutum performansını incelemişlerdir. Küçükali [6], çalışmasında örme kumaşlarda akustik özellikleri araştırmıştır. Örgü desenini değiştirerek kalınlık ve yoğunluğun ses yutum performansına etkilerini araştırmıştır. Liu ve Hu [7], çalışmalarında çözümlü ve atkılı örme kumaş numuneleri kullanarak, akustik performanslarını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, ses yutum ile gürültü yutma performansının doğru orantılı olduğunu bildirmişlerdir. Jiang ve ark. [8], seven-hole polyester lifleri (SHPF) ile klorlu polietilen (CPE) liflerini

kullanarak farklı kalınlıklara sahip olan kompozit yapılar üretilip, akustik performansları ölçülmüştür. Çalışma sonucunda SHPF oranının ses yutumu performansına doğrudan etki ettiğini gözlemlemişlerdir. Abdelfettah ve ark. [9], 2 farklı kesite sahip polyeşter liflerini kullanarak, farklı karışım oranlarına sahip dokunmamış kumaş üretilip ses yutumu performansını araştırmışlardır. Palak [10], çalışmasında farklı kesitlere sahip olan polyeşter lifleri ile LMPET (Low Melting PET) liflerini karıştırarak dokunmamış kumaş elde etmiştir. Farklı doku bağlama yöntemleri kullanılarak yapılan çalışma sonucunda iğneleme yöntemi ile bağlanan yapıların, ısı tekniğiyle bağlanan yapılardan kalınlıklarının fazla olması nedeniyle daha iyi ses yutumu performansı gösterdiğini bildirmiştir. Farahani ve ark. [11], çözümlü örme spacer kumaşların özelliklerini nanolif ile geliştirerek akustik performanslarını incelemişlerdir. Çalışmalarında polyeşter iplik kullanmışlardır. Empedans tüpüyle ses yutumu katsayılarını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, spacer kumaşlarda, aradaki boşluğun artmasıyla akustik performansların iyileştiğini, nanolif uygulaması yapılan deney numunelerinde ses yutumu katsayısının arttığını bildirmişlerdir. Abedkarimi ve ark. [12], çalışmalarında raschel çözümlü örme kumaşlar üretilip, bu kumaşlar üzerinden ampirik modellemeler ile tahminde bulunmuşlardır. 3 farklı ampirik modelleme kullandıkları çalışmalarının sonucunda düşük frekansta Garai ve Pompoli modellemesinin daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Yao ve ark. [13], 4 (dört) farklı enine kesit şekline sahip olan polyeşter lifleri ile LMPET liflerini 1:1 oranında karıştırarak panel elde etmiş ve üretilen deney numunelerinin ses yutumu performanslarını karşılaştırmışlardır. Liu ve ark. [14], çalışmalarında enine kesit şekli hollow (içi boş) olan polyeşter lifleriyle petek yapıya sahip dokuma kumaş üretilip, akustik performansını test etmişlerdir. Çalışmalarında gözeneklilik ve yapı parametreleri üzerinde durmuşlardır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışmada Kullanılan İplik Özellikleri

Bu çalışma kapsamında, 7 (yedi) farklı enine kesit şekline sahip liflerden oluşan polyeşter multifilament FDY (Full Drawn Yarn- Tamamen yönlendirilmiş iplik) iplik kullanılmıştır. Denye (den), 9000 metre ipliğin gram cinsinden ağırlığı demektir. İplik numaralandırmasında gösterilen “f” ise filament demektir. İpliklerin numaralandırılması “150 den f 36*2” şeklindedir. Çalışmada kullanılan iplikler, KORTEKS Mensucat San. Ve Tic. A.Ş./ AR-GE Merkezi tarafından üretilmiştir.

2.2. Çalışmada Üretilen Kumaş Özellikleri

Kumaş numunelerinin üretiminde desen sabit tutularak, iki farklı sıra sıklığında üretim yapılmıştır. Numunelerin isimlendirilmesi, lif kesit şekli ve kumaş sıklığına göre yapılmıştır. Örneğin “HLR-5” adlı numune hollow yani içi boş lif enine kesit şekline sahip olan polyeşter ipliklerden üretilen santimetrede 5 (beş) sıra sıklığına sahip olan numunelerin tek kat ölçüm sonuçlarını ifade etmektedir. “HLR-7x3” olarak isimlendirilen numune ise hollow lif enine kesit şekline sahip olan polyeşter ipliklerden üretilen, santimetrede 7 (yedi) sıra sıklığına sahip ve numunenin üç kat olarak ses yutumu performansının test edildiğini ifade etmektedir.

2.3. Yöntem

Çözgü hazırlama, kumaş numunelerinin çözümlü örme makinesinde üretimi ve fikse işlemi, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tekstil Mühendisliği bölüm laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kumaş numunelerinin, empedans tüpüyle ses yutumu katsayılarının saptanması ise İTAM (İstanbul Tekstil Araştırmaları Merkezi Marmara)’da yapılmıştır.

2.3.1. Çözgü hazırlama

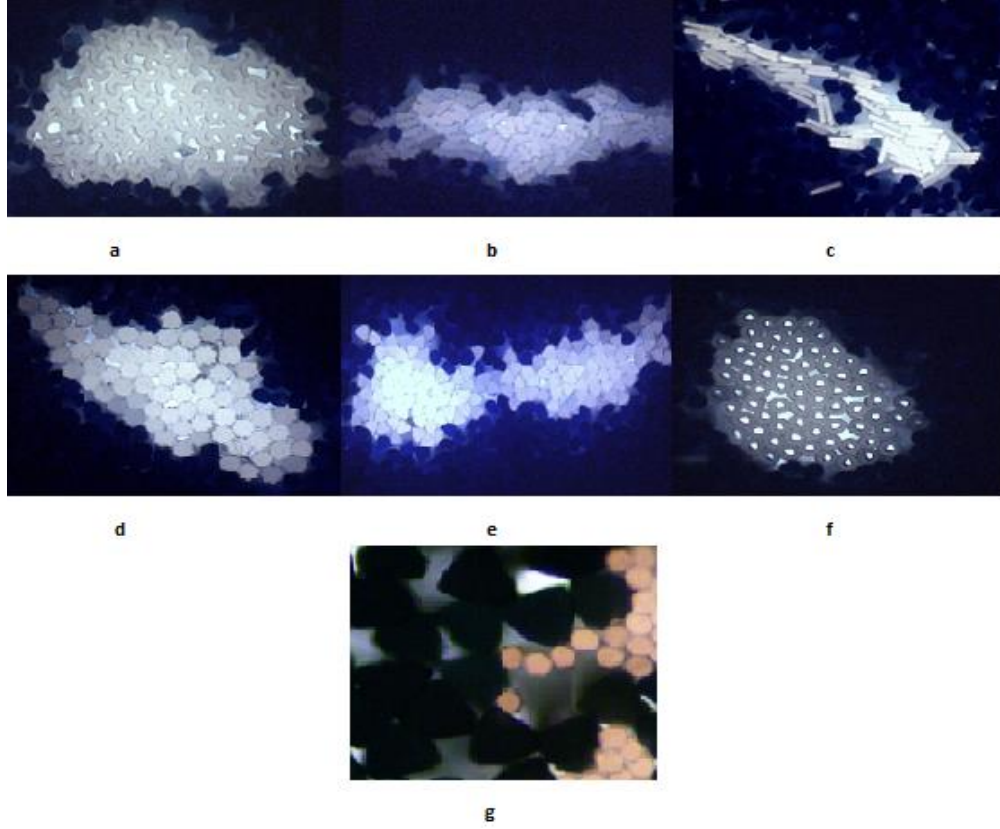
Kumaş numunelerinin üretiminde, “SENKRON” düz çözgü hazırlama makinesi kullanılmıştır. Her bir kumaş numunesi için 4 (dört) adet makara hazırlanmıştır. Sağ ve sol tarafından ayrı ayrı 81 (seksen bir) adet iplik çözgü hazırlama makinesine yönlendirilmiştir. Makaraların her birinde 162 (yüz altmış iki) adet çözgü teli bulunmaktadır.

2.3.2. Kumaş üretimi

Kumaş numunelerinin üretiminde, “COMEZ-DNB/EL-800-8B” çift raylı raschel çözümlü örme makinesi kullanılmıştır. Çözgü hazırlama makinesinden alınan makaralar, çözümlü örme makinesinin arka kısmına yüklenmektedir. Üretimde tek ray ve 4 (dört) adet kılavuz tarağı kullanılmıştır. Ayrıca çözgü ipliklerinden ayrı olarak her bir kılavuz tarağında, sağda ve solda olacak şekilde toplamda 10 adet kenar ipliği beslenmiştir. 4 (dört) tarağın kullanıldığı kumaş numunesinde toplam 40 (kırk) adet kenar iplikleri bulunmaktadır. Üretimde makine inceliği 15 olup (E15), desen sabit tutularak iki farklı sıra sıklık değeri kullanılmıştır.

2.3.3. Fikse işlemi

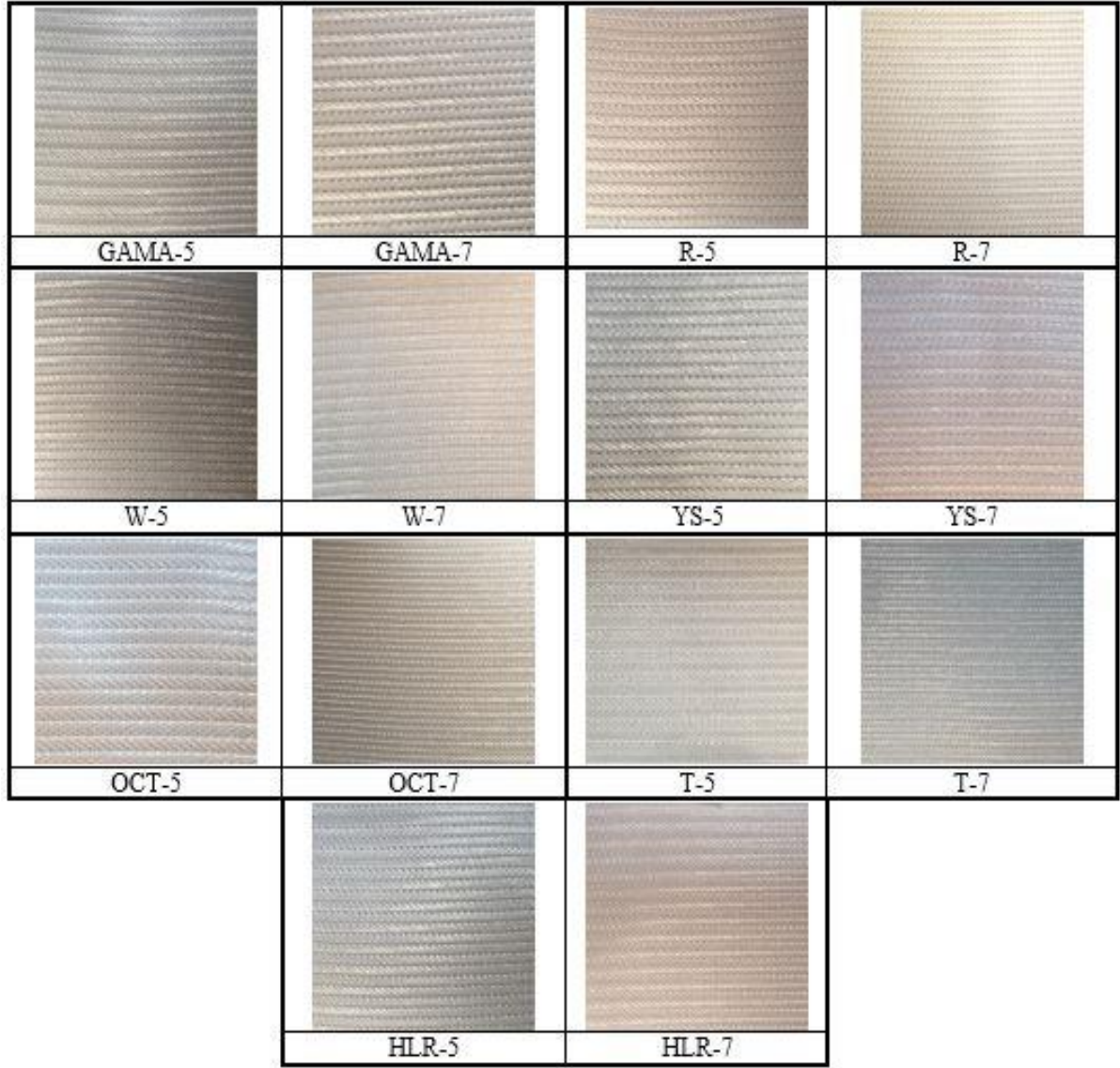
Kumaş numunelerinin üretilmesi ardından bitim işlemi olarak fikse işlemi uygulanmıştır. Fikse, “ATAÇ-GK40 RKL” makinesinde gerçekleştirilmiştir. Bitim işlemi, 180°C’de 30 (otuz) saniye olarak uygulanmıştır.



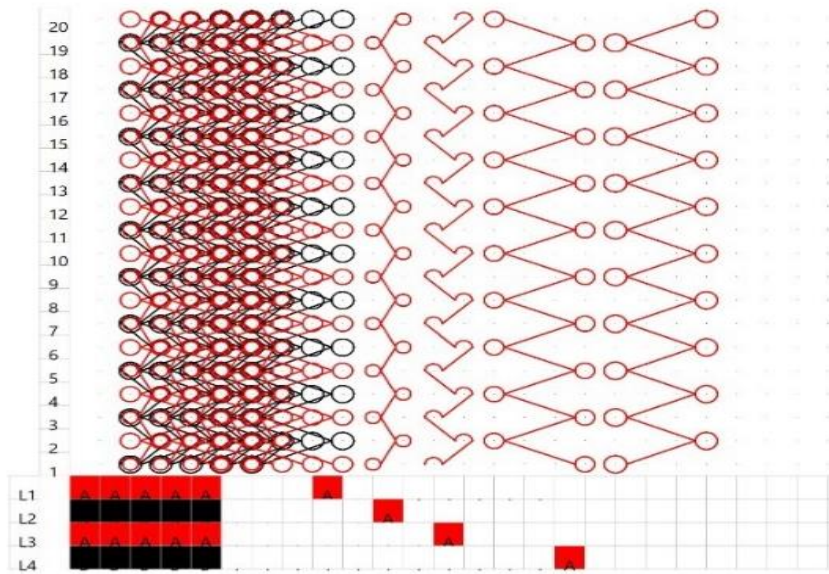
Şekil 1. Kullanılan ipliklerin lif enine kesit şekilleri a.) GAMA- Gama, frizbi kesit, b.) W- W kesit, c.) YS- Yassı kesit, d.) OCT- Octolobal kesit, e.) T- Trilobal, üçgen kesit, f.) HLR- Hollow, içi boşluklu kesit g.) R- Round, yuvarlak kesit

Tablo 1. Numunelerin kalınlık, gramaj ve satır-sütun sıra sıklığı değerler tablosu

Numune Adı	Kalınlık Değeri (mm)	Gramaj (g/cm^2)	Satır Sıklığı (cm)	Sütun Sıklığı (cm)
GAMA-5	1,049	356,5	5	4
GAMA-7	1,155	423,5	6	5
R-5	0,886	353,5	6	4
R-7	0,929	417,5	6	5
W-5	0,845	325,0	5	4
W-7	1,004	413,0	6	5
YS-5	0,950	336,0	5	4
YS-7	1,030	416,5	7	5
OCT-5	0,820	328,5	5	4
OCT-7	0,917	422,0	6	5
T-5	0,863	323,0	5	4
T-7	0,897	408,0	6	5
HLR-5	0,980	330,5	5	4
HLR-7	1,070	420,0	6	5



Şekil 2. Numunelerin görünümleri



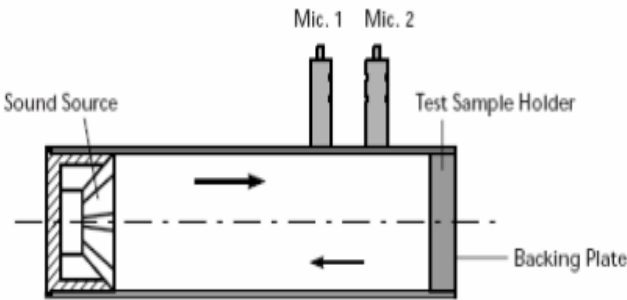
Şekil 3. Numune kumaş deseni teknik çizimi

2.3.4. Kumaş numunelerinin hazırlanması

Test numuneleri, büyük tüp için 100 mm, küçük tüp için 29 mm çapına sahip kalıplar kullanılarak "HÜRSAN" pres makinesinde hazırlanmıştır. Her kumaş numunesinden, büyük ve küçük tüp için üçer adet olacak şekilde toplamda 6 adet test numunesi elde edilmiştir. Numunelerin alımında, farklı çözgü tellerinden olmasına ve farklı atkı satırları üzerinde bulunmalarına dikkat edilmiştir.

2.4. Empedans Tüp Metodu ile Ses Yutum Katsayısının Saptanması

Örme kumaşların, ses yutum katsayıları empedans tüp metodu ile saptanmıştır. Katsayıların saptanması için "Brüel&Kjær" marka empedans tüpü kullanılmıştır. Testler, BS ISO 10534-2 standardına uygun olarak yapılmıştır [15].



Şekil 4. İki mikrofon fonksiyon yöntemi için kurulan empedans tüpü [16]

İki sabit mikrofonlu empedans tüp tekniğinde, büyük veya küçük tüp için gerekli olan aralıkta ölçüm yapılmaktadır. Şekil 4'te gösterilen, üzerinde mikrofonların bulunduğu tüp içerisine açık uca test edilecek numune yerleştirilir. Tüpün diğer ucunda ses kaynağı bulunmaktadır. Ses kaynağının ürettiği ses dalgalarının bant genişliği, kullanılan tüpe göre değişiklik göstermektedir. Ses dalgaları, düzlem dalgalar halinde ilerleyip numune üzerine çarparak geri yansımaktadır. Geri yansıması ile numunenin ses yutum katsayısı (α) sabit halde ve iki ayrı konumda bulunan mikrofonların, frekansın fonksiyonu olarak ses basıncını ölçmesi ile saptanmaktadır [17]. Küçük tüp ile 50-6400 Hz frekans aralığında ölçümler yapmak mümkündür. Küçük tüpün çapı 29 mm'dir [18]. Büyük tüpte ise, ölçülebilen frekans aralığı, 50-1600 Hz bandıdır. Bu ölçümde gerekli olan numune çapıysa 100 mm'dir [19]. Ses yutum katsayısı değeri 0 (sıfır) ile 1 (bir) aralığındadır. Bir malzemenin ölçümünden elde edilen ses yutum katsayısı değeri 1 (bir) değerine ne kadar yakınsa o malzemenin ses yutum performansı o kadar iyidir yorumu yapılmaktadır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yedi farklı lif enine kesit şekline sahip olan polyester iplikten üretilen çözgü örne kumaşların akustik performansları üzerinde çalışılmıştır. Tek kat ve üç

katlı olarak ayrı ayrı test edilen numunelerin test sonuçları aşağıda verilmiştir.

3.1. Tek Kat Olarak Test Edilen Numune Sonuçları

Aşağıda verilecek olan grafikler, 5 (beş) ve 7 (yedi) sıra sıklığıyla üretilen, aynı kesite sahip numunelerin tek kat test sonuçlarına aittir.

Şekil 5'te gösterilen grafiklerde sıra sıklığı açısından karşılaştırma yapılmıştır. Grafikler incelendiğinde, C, E, F ve G grafiğinde bulunan numunelerden elde edilen verilerin arasında çok büyük farklar olmadığı ve ses yutum katsayısı davranışlarının yapısal olarak benzer olduğu görülmektedir. A, B, ve D grafikleri incelendiğinde, santimetrede 5 (beş) sıra sıklığı değerine sahip olan numunelerin, 7 (yedi) sıra sıklığı değerine göre daha iyi ses yutum performansı sergilediği gözlemlenmektedir. Ayrıca A grafiği yani GAMA kesite sahip olan numuneler hariç diğer grafikler incelendiğinde, her iki sıra sıklığında da 4000-5000 Hz aralığından sonra ses yutum performanslarında düşüşler olduğu görülmektedir.

Şekil 6'da, 7 (yedi) farklı lif enine kesit şekline sahip iplikler kullanılarak santimetrede 5 (beş) sıra sıklığında üretilen ve tek kat olarak akustik ölçümleri yapılan çözgü örne kumaş numunelerinin ses yutum kapasitelerinin sonuçları gösterilmektedir. Grafik üzerinden ölçüm sonuçlarının, düşük frekans aralığına (0-1600 Hz) ve yüksek frekans aralığına (1600-6400 Hz) ayrılarak değerlendirmesi yapılacaktır. Bütün kumaş yapıları için elde edilen ses yutum katsayısı davranışları yapısal olarak benzerlik göstermekte ancak birbirlerinden ses yutum performansı açısından farklılık göstermektedir. Bütün kumaş yapıları için yüksek frekans bandında elde edilen ses yutum katsayılarının, düşük frekans bandında elde edilen ses yutum katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Kesit şekillerine göre kıyaslama yapıldığında ise en düşük ses yutum katsayıları R, W, OCT, T ve HLR kesit şekillerine sahip ipliklerden üretilen kumaşlardan elde edilmiştir. YS ve GAMA lif enine kesit şekillerine sahip ipliklerden üretilen kumaş yapılarının, hem düşük hem de yüksek frekans bandında performanslarının iyi olduğu görülmektedir. Genel olarak tabloya bakıldığında ise 4000-5000 Hz frekans bandı aralığından sonra, GAMA kesite sahip olan numune hariç, ses yutum performanslarında azalış gözlemlenmektedir.

Şekil 7'de, 7 (yedi) farklı enine kesit şekline sahip liflerden oluşan iplikler kullanılarak 7 (yedi) sıra sıklığında üretilen ve tek kat olarak akustik ölçümleri yapılan çözgü örne kumaş numunelerinin ses yutum kapasitelerinin sonuçları gösterilmektedir. Grafik üzerinden ölçüm sonuçları, düşük ve yüksek frekans aralığına ayrılarak değerlendirilmesi yapılacaktır. Bütün kumaş yapıları için elde edilen ses yutum katsayısı davranışları, yapısal olarak benzerlik göstermekte

ancak ses yutum performansı açısından aralarında farklılık olduğu gözlemlenmektedir. Bütün kumaş yapıları için yüksek frekans bandında elde edilen ses yutum katsayılarının, düşük frekans bandında elde edilen ses yutum katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Kesit şekillerine göre kıyaslama yapıldığında ise en düşük ses yutum katsayıları R, W, OCT, T ve HLR lif enine kesit şekillerine sahip ipliklerden üretilen kumaşlardan elde edilmiştir. YS ve GAMA lif enine kesit şekillerine sahip olan ipliklerden üretilen kumaş yapılarının, hem düşük hem de yüksek frekans bandında performanslarının daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 5'te verilen grafikte olduğu gibi 4000-5000 Hz frekans bant aralığında, GAMA lif enine kesit şekline sahip numune hariç, ses yutum katsayısında azalış gözlemlenmektedir.

3.2. Üç Kat Olarak Test Edilen Numune Sonuçları

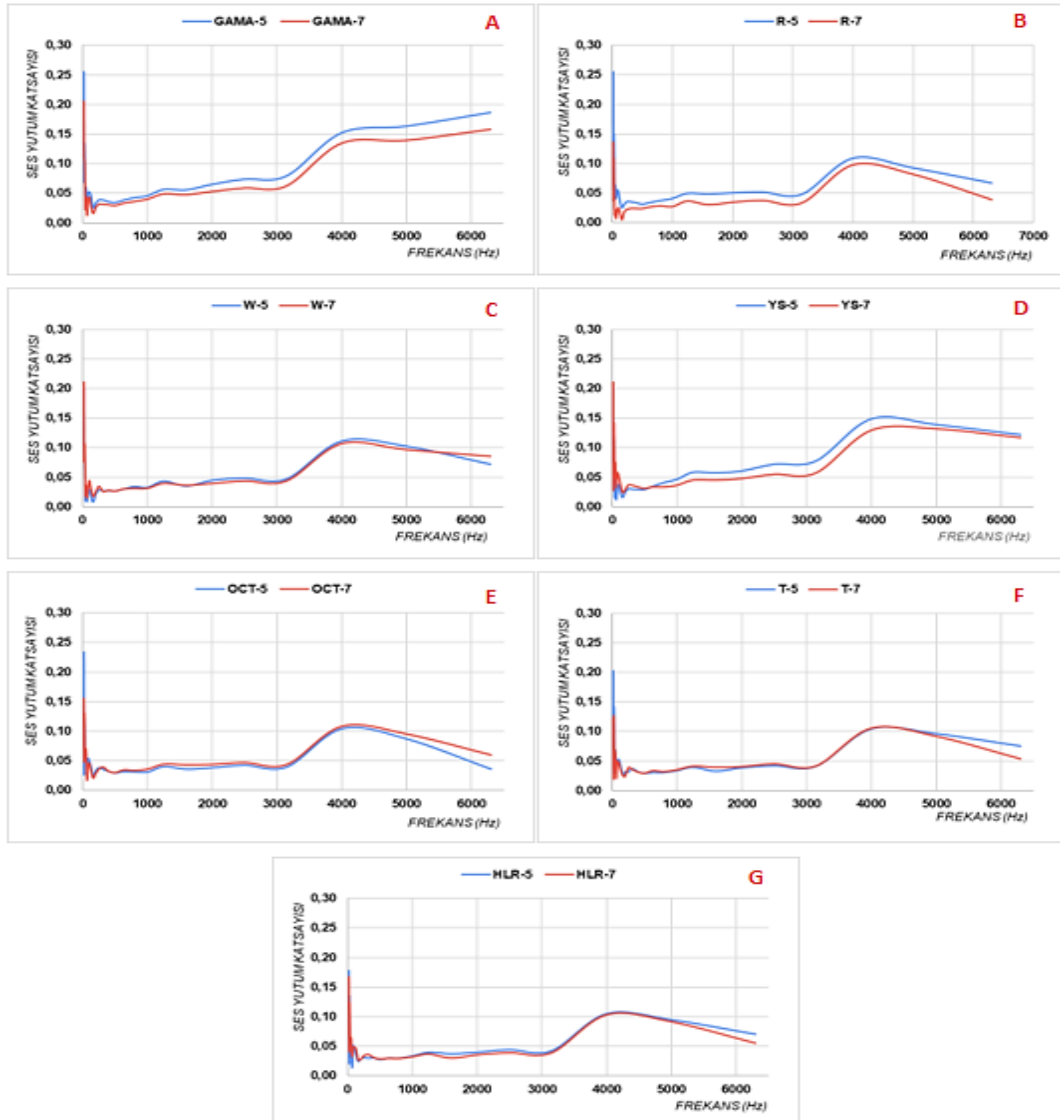
Aşağıda verilecek olan grafiklerde, numuneler empedans tüp metodunda 3 (üç) katlı olarak test edilmiştir. Numunelerin ses yutum performansları aşağıdaki gibidir:

Şekil 8'de bulunan A grafiği incelendiğinde, her iki sıra sıklığında da hem düşük hem de yüksek frekans bandında çok iyi ses yutum performansı sergilediği görülmektedir. İki numune birbiriyle karşılaştırıldığında, GAMA-5x3 numunesinin daha iyi ses yutum performansına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Diğer grafikler incelendiğindeyse bütün numunelerin her iki frekans bandında da iyi performans sergiledikleri açıkça görülmektedir. Sıra sıklığı açısından bakıldığında ise "-5x3" kodlaması ile devam eden numunelerin daha iyi ses yutum performansı gösterdiği gözlemlenmektedir. Ayrıca diğer ölçümlerden farklı olarak C grafiğinde 3000 Hz, D ve F grafiklerinde ise 4000-5000 Hz frekans aralığında 7 (yedi) sıra sıklığına sahip olan numunelerin performanslarında artışlar bulunmaktadır.

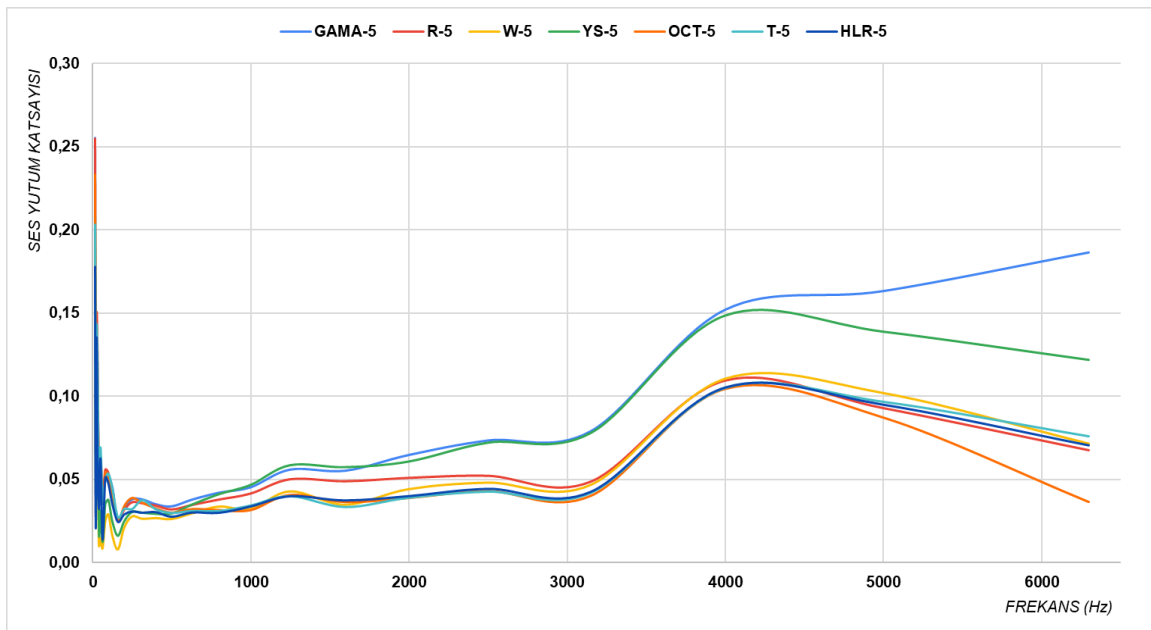
Şekil 9'da, 7 (yedi) farklı enine kesit şekline sahip liflerden oluşan iplikler kullanılarak, santimetrede 5 sıra sıklığında üretilen ve üç kat olarak akustik ölçümleri yapılan çözgümlü örme kumaş numunelerinin ses yutum kapasitelerinin sonuçları gösterilmektedir.

Bütün kumaş yapıları için elde edilen ses yutum katsayı davranışları yapısal olarak benzerlik göstermekte ancak birbirlerinden ses yutum performansı açısından farklılık göstermektedir. Bütün kumaş yapıları için yüksek frekans bandında elde edilen ses yutum katsayılarının, düşük frekans bandında elde edilen ses yutum katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Kesit şekillerine göre kıyaslama yapıldığında ise en düşük ses yutum katsayıları R, W, OCT, T ve HLR kesit şekillerine sahip ipliklerden üretilen kumaşlardan elde edilmiştir. GAMA lif enine kesit şekline sahip ipliklerden üretilen kumaş numunesinin, hem yüksek hem de düşük frekans aralığında, ses yutum katsayısının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Ayrıca T lif enine kesit şekline sahip ipliklerden elde edilen çözgümlü örme kumaşların, ses yutum performansının hem düşük hem de yüksek frekans aralığında en düşük seviyede olduğu gözlemlenmektedir.

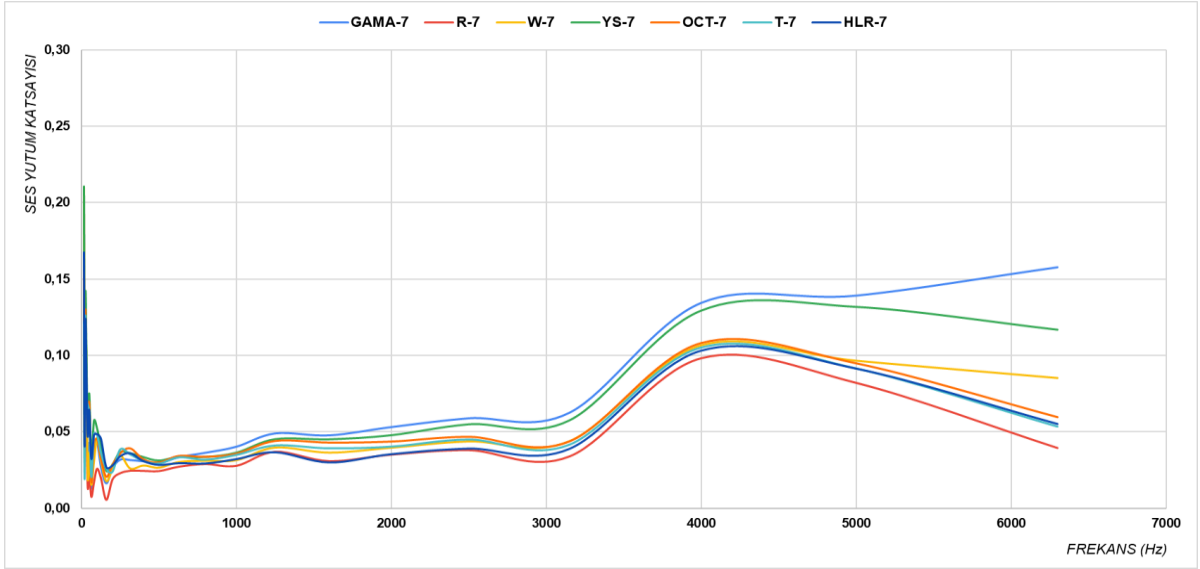
Şekil 10'da 7 (yedi) farklı lif enine kesit şekline sahip iplikler kullanılarak, 7 (yedi) sıra sıklığında üretilen ve üç kat olarak akustik ölçümleri yapılan çözgümlü örme kumaş numunelerinin ses yutum kapasitelerinin sonuçları gösterilmektedir. Bütün kumaş yapıları için elde edilen ses yutum katsayı davranışları, yapısal olarak benzerlik göstermekte ancak ses yutum performansları açısından birbirlerinden farklı oldukları gözlemlenmektedir. Bütün kumaş yapıları için yüksek frekans bandında elde edilen ses yutum katsayılarının, düşük frekans bandında elde edilen ses yutum katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. GAMA lif enine kesit şekline sahip ipliklerden üretilen kumaş numunesinin, hem yüksek hem de düşük frekans aralığında, ses yutum katsayısının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Lif enine kesit şekillerine göre kıyaslama yapıldığında ise, GAMA lif enine kesit şekline göre daha düşük ses yutum performansı R, YS, OCT, T ve HLR lif enine kesit şekillerine sahip ipliklerden üretilen kumaşlardan elde edilmiştir. Ayrıca W lif enine kesit şekline sahip olan ipliklerden elde edilen ses yutum performansı, yüksek frekans bandında GAMA lif enine kesit şekline sonradan en iyi ses yutum performansını gösterdiği gözlemlenmektedir.



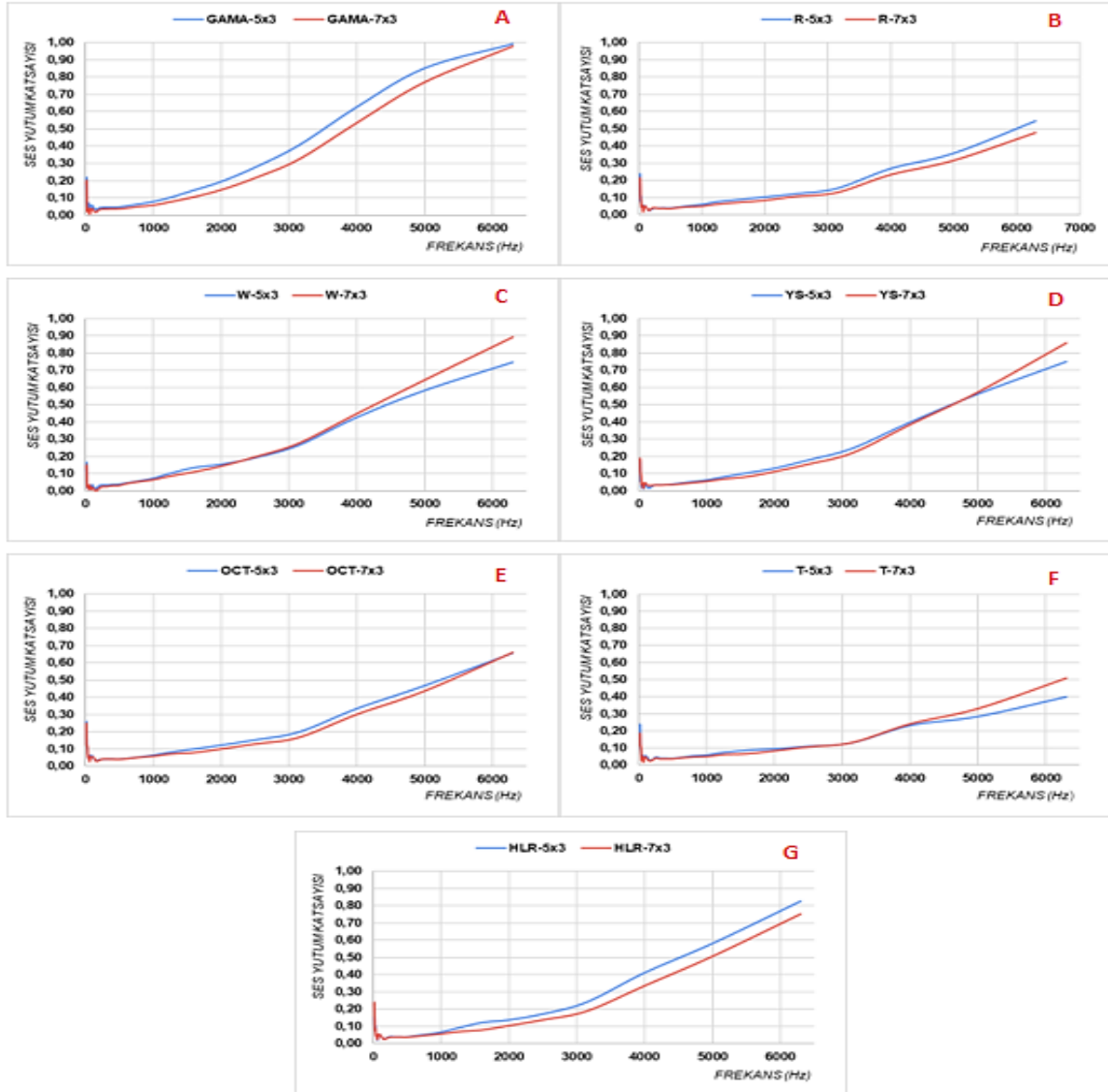
Şekil 5. 5 (beş) ve 7 (yedi) sıra sıklığında üretilen numunelerin ses yutum grafikleri



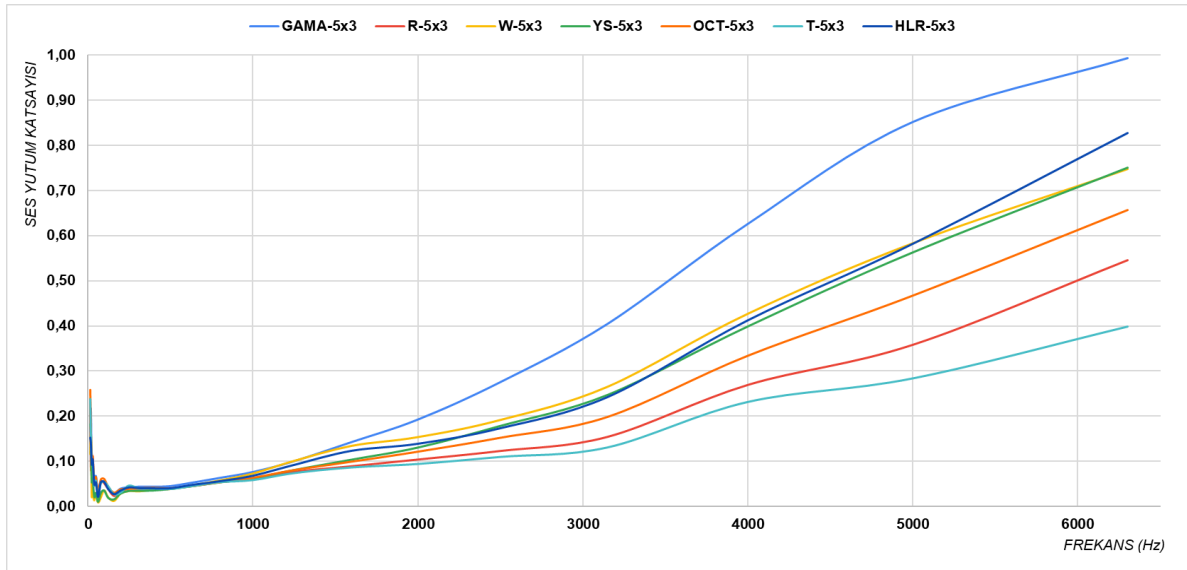
Şekil 6. 5 sıra sıklığına sahip olan kumaş numunelerinden elde edilen ses yutum katsayı grafiği



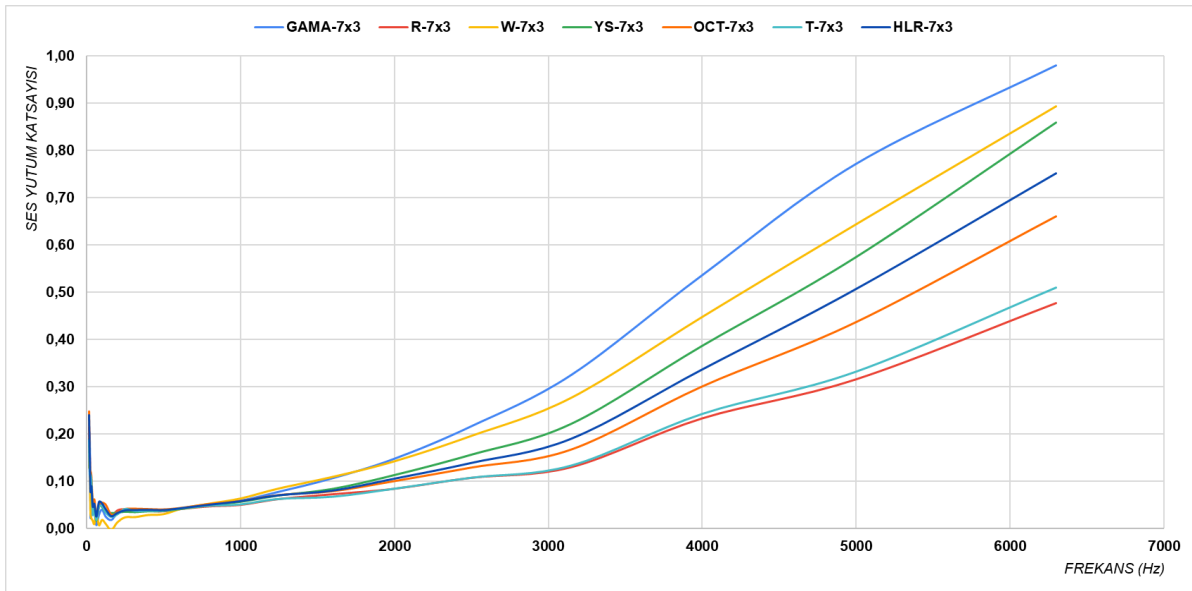
Şekil 7. 7 (yedi) sıra sıklığına sahip olan kumaş numunelerinden elde edilen ses yutum katsayı grafiği



Şekil 8. 5 (beş) ve 7 (yedi) sıra sıklığında üretilen numunelerin 3 (üç) kat olarak yapılan testlerinden elde edilen ses yutum katsayı grafikleri



Şekil 9. 5 (beş) sıra sıklığına sahip olan ve 3 (üç) katlı olarak test edilen kumaş numunelerinden elde edilen ses yutum katsayı grafiği



Şekil 10. 7 (yedi) sıra sıklığına sahip olan ve 3 (üç) katlı olarak test edilen kumaş numunelerinden elde edilen ses yutum katsayı grafiği

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılmış bulunan bu çalışmada, 7 (yedi) farklı enine kesit şekline sahip liflerden üretilen polyester iplikler ile çözümlü örme kumaş yapıları üretilmiştir. Kumaşların ses yutum katsayısı, empedans tüp metoduyla tayin edilmiştir. Hem düşük hem de yüksek frekans aralığında yapılan testlerin sonuçları incelenmiştir. Üretilen çözümlü örme kumaş yapılarının sıra sıklıkları açısından, ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, 5 (beş) sıra sıklığında üretilmiş olan kumaş numunelerinin, 7 (yedi) sıra sıklığında üretilen kumaş numunelerinden daha yüksek ses yutum performansı sergilediği görülmüştür. Bunun nedeni, birim alandaki ilmek sıklığının azalmasıyla birlikte kumaş yapısı içerisindeki boşluklu yapının artmasıdır. Kumaş yapısı içerisinde oluşturulan boşluk

miktarının artması neticesinde ses yutum performansının daha yüksek seviyede olması beklenen bir sonuçtur.

İki farklı sıra sıklığında üretilen çözümlü örme kumaş numunelerinin ses yutum performansları, tek ve üç kat olarak empedans tüp metodu ile test edilmiştir. Çözümlü örme kumaşların katmanlı olarak ölçümünden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, üç katmanlı olarak ses yutum katsayısı ölçümleri gerçekleştirilen kumaş yapıları, tek katmanlı kumaş yapılarından daha yüksek ses yutum performansı göstermiştir. Bunun nedeni, yapı kalınlığının artmasından dolayıdır. Yapı kalınlığı, ses yutum performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ses yutum performansının, kumaş yapısındaki kalınlık

miktarının artması durumunda daha yüksek seviyede gerçekleşmesi öngörülen bir sonuçtur.

Üretimde kullanılan ipliklerin lif enine kesit şekilleri açısından ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, ölçüm yapılan numunelerde en iyi ses yutum performansı GAMA lif enine kesit şekline sahip olan numunelerden elde edilmiştir. 5 (beş) sıra sıklığında HLR, W ve YS lif enine kesit şekillerine sahip olan numuneler benzer ses yutum performansları sergileyerek, GAMA lif enine kesit şeklinden sonra en iyi performansı göstermişlerdir. YS lif enine kesit şekline sahip olan numunelerden elde edilen değerler ise hemen hemen GAMA lif enine kesit şekline yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Katmanlı olarak yapılan testlerdeyse, yine en iyi sonuçlar her iki sıra sıklık değerinde de GAMA lif enine kesit şekline sahip numunelerden elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak, GAMA enine kesit şekline sahip liflerin üzerinde bulunan derin girintiler sayesinde yüzeysel alan değerinin, diğer lif enine kesit şekillerine göre daha yüksek olmasıdır. Derin girintilerin varlığıyla, ses şiddeti yapı içerisinde sönümlenmektedir. Ses yutum performansının, lif kesitlerinin değişmesiyle farklılık göstermesi beklenen bir sonuçtur.

Çalışma kapsamında yapılan literatür taraması neticesinde, polyester iplikler ile yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmalar genellikle dokunmamış ve dokuma kumaşlar üzerine yapılmıştır. Giriş kısmında yer alan literatür çalışmalarının sonuçları, bu çalışmayı destekler niteliktedir. Ancak, akustik konusunda çözgümlü örme teknolojisi kapsamında yapılan literatür çalışmaları kısıtlıdır. Bu çalışmanın, literatüre katkı sağlayabileceği ve bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutabileceği öngörülmektedir.

Kumaşlara katmanlı olarak testlerin yapılması, bundan sonra yapılacak olan çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla. Yapılan çalışmada kullanılan tekstil yüzeyleri, ticari açıdan üretilebilir yapılardır. Gürültü kontrolü amacıyla; taşımacılık (otomotiv, havacılık, deniz taşıtları vb.) ve yapı akustiğinde (ev, ofis, tiyatro salonları vb.) aktif olarak kullanılabilen yapıdır. Gürültü kontrolünde yaygın olarak kullanılan dokunmamış tekstil yüzeylerine kıyasla, çalışmada kullanılan çözgümlü örme yüzeylerin daha estetik bir görüntüye sahip olduğu söylenebilir. Bu çalışma sonucunda, GAMA kesit yapısına sahip lif veya iplik formunda bulunan yapılardan üretilmiş tekstil yüzeylerinin gürültü kontrolünde etkin rol oynayabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Tamer, O. M. (2018). Ses İzolasyonu Ses Alıcısı Kulak, 1. Basım, Mimart Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.

- [2] Nayak, R., Padhye, R. (2016). Acoustic Textiles Textile Science and Clothing Technology, Padhye, R., Nayak, R. Editors; Springer Science+Business Media, Singapore.
- [3] Garai, M., Pompoli, F. (2005) A Simple Empirical Model of Polyester Fibre Materials for Acoustical Applications. Applied Acoustics, 66(2005): 1383-1398.
- [4] Li, J. (2007) A Study on the Relationship between the Thickness Of Nonwoven and Its Sound Absorption Capability. Modern Applied Science, 1(4):74-76.
- [5] Tascan, M., Vaughn, E.A. (2008) Effects of Total Surface Area and Fabric Density on the Acoustical Behavior of Needle-punched Nonwoven Fabrics. Textile Research Journal, 78(4): 289-296.
- [6] Küçükali, M. (2010) Akustik Özellikleri Geliştirilmiş Örme Kumaşlar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 3.
- [7] Liu, Y., Hu, H. (2010) Sound Absorption Behavior of Knitted Spacer Fabrics. Textile Research Journal 80(18): 1949-1957.
- [8] Jiang, S., Xu, Y., Zhang, H., White, C.B., Yan, X. (2012) Seven-Hole Hollow Polyester Fibers as Reinforcement in Sound Absorption Chlorinated Polyethylene Composites. Applied Acoustics 73 (2012): 243-247.
- [9] Mahmoud, A., El-Shenawy, G., Ramadan, E. (2012) Using Nonwoven Hollow Fibers to Improve Cars Interior Acoustic Properties. Research Journal of Textile and Apparel, 16(3): 49-56.
- [10] Palak, H. (2019) Design and Development of Nonwovens with Sound Absorption Properties for Automotive Applications. M.Sc Thesis, Istanbul Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology, Istanbul, Turkey, 2-89.
- [11] Farahani, M.D., Avnaki, M.J., Jeddi, A.A. (2020) Sound Absorption of Warp Knitted Spacer Fabrics Based on Knit Structure and Nanofiber Enhancement. Journal of Industrial Textiles, 0(0):1-19.
- [12] Abedkarimi, R., Hasani, H., Soltani, P., Talebi, Z. (2020) Experimental and Computational Analysis of Acoustic Characteristics of Warp-Knitted Spacer Fabrics. The Journal of the Textile Institute 111(4): 491-498.
- [13] Yao, Z., Cai, J., Wang, X., Yang, Y., He, Y. (2021) Application of Equivalent Diameter in Sound Absorption Performance Prediction of Non-circular Sectional Polyester Fibers. Applied Acoustics 182 (2021): 1-7.
- [14] Liu, X., Jiang, J., Tang, X., Han, R., Wang, Q., Deng, Z., Sound Absorption of Hollow Polyester Woven Fabric with Honeycomb Weave. Applied Acoustic 180 (2021): 1-9.

- [15] EN ISO 10534-2:2001 Acoustics- Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes- Part 2: Transfer-function method. International Organization for Standardization.
- [16] Yumşak, M. (2010) Farklı Fiziksel Özelliklere Sahip Dokusuz Kumaşların Ses Yutum Kapiliyetlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye, 36.
- [17] Süvari, F. (2012) Nanolif Kompozit Yapılı Dokusuz Yüzeylerin Ses Absorplama Özelliklerinin İyileştirilmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 105.
- [18] Sancak, E. (2015) An Investigations of Sound Absorbance Properties of Weft Knitted Spacer Fabrics. International Journal of Acoustics and Vibration 20(1): 36-40.
- [19] Ersoy, S. (2007) Endüstriyel Çay-Yaprak-Fiber Atıklarının Ses Yutum Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 36.

İşte Var Olmama (Presenteeism) ve İş Tatmini İlişkisinde Örgütsel Sinizmin Aracılık Rolü ve Yaş Faktörü

Organizational Cynicism and the Age Factor as Mediators in the Relationship between Presenteeism and Job Satisfaction

Turabi KARADAĞ¹ 

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu araştırma iş güvenliği uzmanlarının iş tatmin düzeyi üzerinde işte var olamama algısının etkisi ve bu etkiye aracılık eden veya düzenleyen örgütsel sinizm ve yaş faktörlerinin ilişkisine ışık tutmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma problemini nicel yöntemlerle irdeleyebilmek için veriler, internet üzerinden uygulanan anket formu ile 251 iş güvenliği uzmanından veri toplanmıştır. En küçük kareler yöntemine dayalı iki regresyon modeli kurulmuştur. İlk regresyon modelinde işte var olamama algısı düzeyinin iş tatmini üzerindeki doğrudan etkisi, örgütsel sinizm düzeyinin doğrudan etkisi ve aracılık etkisi incelenmiştir. İkinci regresyon modelinde ise yaş faktörünün bu etkiler üzerindeki yönetici/ düzenleyici etkisi sorgulanmıştır. İşte var olamama algısının iş tatmini üzerindeki tek başına etkisi istatistiksel açıdan anlamlı değilken, örgütsel sinizm faktörünün aracılık etkisiyle birlikte işte var olamama algısının iş tatmini üzerindeki etkisi anlamlıdır. Dolayısıyla örgütsel sinizm tam aracılık etkisine sahiptir. İki değişkendirdeki değişimin iş tatmin düzeyi üzerindeki etkisi negatiftir. Yaş faktörünün bu ilişki örüntüsündeki yönetici etkisi anlamlıdır. Ancak yaşın yöneticilik etkisi presenteeism düzeyinin tek başına etkisi üzerinde değil, Örgütsel sinizm faktörü ve onun aracılık etkisi üzerinde anlamlıdır. Yaş artıçça, presenteeism sinizm aracılığıyla iş tatmini üzerindeki etkisi artma eğilimindedir.

Anahtar Kelimeler: işte var olmama (presenteeism), iş tatmini, örgütsel sinizm, yaş.

Abstract

The goal of this study was to learn more about the impact of presenteeism perception on occupational safety experts job satisfaction, as well as the relationship between organizational cynicism and age factors that mediate or regulate this effect. Data was collected using an internet-based questionnaire from 251 occupational health and safety experts in order to examine the research problem using quantitative methods. The least squares method was used to create two regression models. The direct effect of absenteeism perception on job satisfaction, the direct effect of organizational cynicism, and the mediation effect were investigated in the first regression model. The manager/moderator effect of the age factor on these effects was questioned in the second regression model. While not being present at work has no statistically significant effect on job satisfaction, the effect of presenteeism perception on job satisfaction is statistically significant when combined with the mediation effect of the organizational cynicism factor. As a result, organizational cynicism serves as a full mediator. Changes in two variables have a negative impact on job satisfaction levels. In this relationship pattern, the age factor has a significant executive effect. However, the managerial effect of age is only significant on the organizational cynicism factor and its mediating effect, not on the effect of presenteeism level alone. The impact of presenteeism on job satisfaction through cynicism tends to increase as people get older.

Key Words: presenteeism, job satisfaction, organizational cynicism, age.

I. GİRİŞ

Örgütler yaşamlarını devam ettirebilmek adına proaktif bir yaklaşım sergileyerek olması muhtemel değişimin sinyallerini önceden fark edebilmeli ve değişimler gerçekleştiğinde uyum sağlayabilmelidir. Örgütler adına günümüz dünyasında rekabet edebilmek gün geçtikçe daha zor bir hal almaktadır. Örgütler sürdürülebilir rekabet üstünlüğünü sağlayabilmek adına gelişim ve değişim içerisinde yer almalıdırlar. Endüstrileşmenin de giderek artmasıyla örgütler rekabet üstünlüğü sağlamada en önemli faktör olan insan kaynağının önemini gün geçtikçe daha yoğun bir şekilde kavramaktadırlar. İşletmelerin nihai amacı mal ve hizmet üretmektir. İşletmeler nihai hedeflerine ulaşabilmek adına sahip olduğu üretim faktörlerini etkin ve verimli bir şekilde kullanmak zorundadır. Üretim faktörleri içerisinde en önemli unsurun insan olduğu ve bu unsurun etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasının öneminin yadsınamaz olduğu bir gerçektir.

İşletmelerde zamanla önemli bir soruna dönüşen işte var olamama kavramı, İngiliz literatüründe presenteeism kelimesiyle tanımlanmaktadır. Kökenine bakıldığında presenteeism kavramının “presence” kelimesinden

meydana geldiği görülmektedir. “Presence” kelimesinin anlamı ise var olma, hazır bulunma, görünüş ve orada olmak şeklindedir. Presenteeism kelime anlamından fiziken var olmayı ifade ettiği görülmektedir (Çiftçi, 2010:155). Cooper’ın 1998 yılında yaptığı araştırmasında presenteeism (işte var olamama) kavramını XX. yüzyılın ikinci yarısını takiben ortaya çıkan ve her açıdan toplumu derinden etkileyen olaylarla bağdaştırmakta ve sebeplerini bu olaylarda aramaktadır. Cooper’a göre; bilhassa 1990’lı yıllarda dünya çapında yaşanan resesyondan dolayı (ekonomik durgunluk) işletmelerin küçülme yoluna gitmeleri ve dolayısıyla çalışanların işsiz kalmaları ve herhangi bir iş garantisi olmaksızın çalışmak durumunda kalmaları presenteeismi doğuran temel neden olarak görülmektedir. Yine aynı şekilde Aronson ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 1990’lı yıllarda meydana gelen küresel ve endüstriyel iş iklimlerinin değişmesinin presenteeismi güncel bir olgu olarak karşımıza çıkarttığını ifade etmektedirler (Aronsson vd., 2000:503).

İş yaşamında son dönemlerde, devamsızlık şeklinde ifade edilen “hastayım bugün işe gitmeyeceğim” yerini presenteeism (işte var olamama) olarak belirtilen “hastayım fakat işteyim” olgusuna bırakması gün geçtikçe artan bir şiddetle tartışılmaktadır. Günbeyi ve Gündoğdu (2010) yaptıkları çalışmalarında presenteeism (işte var olamama) kavramını “işkoliklik” olarak kullanmıştır (Günbeyi ve Gündoğdu, 2010: 56).

Araştırmanın bir diğer odak noktası olan iş tatmini kavramı ise, endüstriyel psikoloji, kamu yönetimi, sağlık kurumları gibi çeşitli disiplinlerdeki araştırmacılar için popüler bir konudur. İş tatmininin yaygın olarak araştırılmasının ana nedeni kurum kültürü gibi değişkenlerle önemli ilişkiler içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır (Nawawi, 2013). Sudaryo ve arkadaşlarına (2018: 75) göre bir kurumun başarısı için insan kaynaklarının üretkenliği gerekli olduğu için iş tatmini de önemlidir. Worrell’e (2004: 10) göre çalışanların bağlılıklarını, özverilerini ve iş kalitesini artırabilmesi bakımından iş tatmini bir kurumun başarısının anahtarlarından biridir. Diğer taraftan iş tatmini düzeyinin düşük olması çalışanların bağlılık ve sadakatlerinin azalmasına neden olarak kurum hedeflerinin performansını ve başarısını olumsuz yönde etkileyebilir (Olorunsola, 2013). Spector’a (1997: 1) göre iş tatmini, kurum çalışmanın işini sevme seviyesidir. Bununla birlikte, benzer anlamda iş tatmini yapılan işin bir zevk kaynağı olarak görülmesi ve ihtiyaçların ya da isteklerin yerine getirilme düzeyi ile ilişkilidir (Worrell, 2004: 10-11). Ancak Robbins ve Coulter’a (2012: 375) göre ise iş tatmini işi ile ilgili olumlu ve olumsuz hisleri olan bir çalışanın genel tutumudur. Bu fikirlerden yola çıkarak, bir çalışanın işiyle ilgili beklentilerinin karşılanabileceği ölçüde iş tatminine sahip olacağı ve işine yönelik olumlu bir tutum geliştirebileceği sonucuna varılabilir.

Gelişen ve değişen dünyada örgütleri bu gelişim ve değişimlere uyum sağlamaya yöneltecek en önemli kaynak beşeri sermaye olduğu söylenebilir. Beşeri sermaye başka bir ifadeyle insan, doğası gereği başka insanlarla bir arada yaşamak zorundadır. İnsan en küçük örgüt olan aile ile yaşamına başlar ve zamanla çeşitli örgütlerle etkileşime girerek sosyalleşmektedir. İnsanın sosyalleşme sürecine katkı sağlayan örgütler çevrenin etkisiyle dinamik ve canlı hale gelmektedir. İnsan ise becerileri, yetenekleri ve donanımları sayesinde içinde bulunduğu ortamı değiştirmekte ve geliştirmektedir. Bu açıdan bakıldığında insan kaynağının örgüt açısından taşıdığı önem açık bir şekilde görülebilir. Bu nedenle çalışanların örgütlerine karşı olumlu tutumlar beslemeleri son derece önemlidir. Fakat örgütsel ortamın niteliği, yapılan işin gerekleri, yöneticilerin davranış biçimleri, çevresel değişimler gibi birçok nedenden dolayı çalışanlar örgütlerine karşı bazı olumsuz tutumlar besleyebilir ve istenmeyen davranışlar gösterebilirler. Bu olumsuz tutum ve davranışlardan birisi de sinizmdir (Torun, 2016:26).

Örgütsel sinizm çalışanların örgüte karşı hissettikleri olumsuz duygu, değer, inanç ve davranışlardan oluşmaktadır. Brandes (1997:31) yaptığı bir çalışmada örgütsel sinizmi, çalışanların yönetimi küçümsemesi, bencillikle yargılaması, aynı kademedeki meslektaşlarını hor görmesi şeklinde tanımlamaktadır. Sinizm örgüt açısından birçok olumsuz sonuç ortaya çıkarabilmektedir. Çünkü örgütsel sinizm çalışanın örgüte olan bağlılığını, performansını ve verimliliğini azaltan, işten ayrılmasına ya da ayrılma niyetinin ortaya çıkmasına neden olan olumsuz bir durumu yansıtır. Örgütte sinizm yaşayan çalışanlar kendilerini örgütün bir parçası olarak görmekte zorlanırlar. Karşı karşıya kaldıkları hemen hemen her durumdan bir adaletsizlik algısı ortaya çıkarak kendilerini tüketirler.

Yapılan çalışmada işte var olmama konusunun örgütsel davranışlar içerisinde bir çok konuya etki ettiği görülmüştür. Bunlar içerisinde iş tatmini önemli bir yer tutmaktadır. Bireylerin hedefleri ile örgütün hedeflerinin uyumlanması anlamına gelen iş tatmini olduğunda, örgütler için oldukça olumlu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Dolayısı ile her örgüt, çalışanlarında iş tatmini oluşturmak için gayret sarf etmektedir. Çalışanlarda iş tatmini olmama durumu ise örgütler için kaçınılan bir durumdur. Örgütler iş tatmini olmayan çalışanlarla hedefledikleri verimliliği sağlayamazlar (Çiçekoğlu, 2019: 35). Ayrıca iş tatmini olmayan çalışanlarda örgütsel sinizmi etkileyerek işte var olmama sonucunu ortaya çıkartabilir. Çünkü örgütlerinde sinizm yaşayan çalışanlar farklı nedenlerden dolayı işlerine devam etmek zorunda kalabilirler. İşte tam bu noktada işte var olamama sorunu karşımıza çıkmaktadır. İşte var olamama çalışanların yaşadıkları sorunlar nedeniyle, fiziki olarak iş ortamında olmalarına rağmen

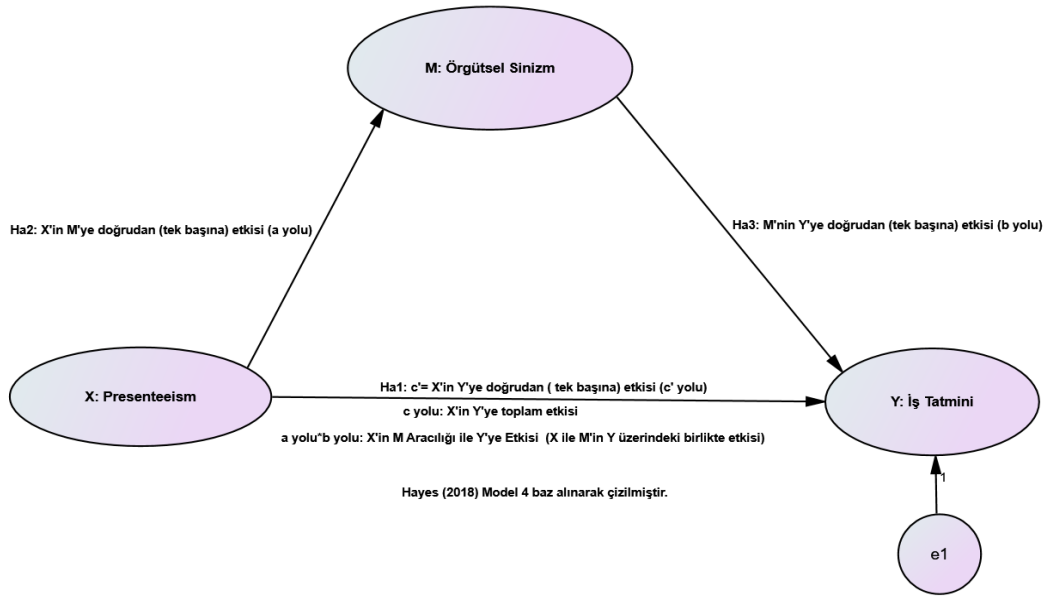
kendilerinin yaptıkları işe verememeleri ve kapasitelerini tam olarak kullanamamalarıyla ilişkili bir kavramdır. Örgütsel sinizmin bireyler üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda işte var olamama sorunu yaşamaları doğal bir sonuç olarak karşımıza çıkar. Başka bir ifadeyle birçok örgütsel ve yönetsel durum çalışanlarda sinik tutumların gelişmesine neden olabilmektedir. Sinik tutumlar ise zamanla çalışanı işinden soğutmaya ve işte var olamama sorunun ortaya çıkmasına neden olacaktır. İşte var olamama sorununun ise çalışanlarda iş tatminsizliğinin artırması kaçınılmazdır. Çünkü kendini işine tam olarak veremeyen çalışan açısından duygusal bir boşluk hissi oluşur. Bu noktada çalışanlarda iş tatminsizliği bireyleri ele geçirmeye başlamıştır denilebilir. Şimdiye kadar işte var olmama, iş tatmini ve örgütsel sinizm kavramları birbirlerinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma ise, işte var olmama ve iş tatmini üzerine etkisinde örgütsel sinizmin nasıl bir rol oynadığını belirlemesi bakımından diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Bu bağlamdan yola çıkılarak çalışmada iş güvenliği uzmanlarının iş tatmin düzeyi üzerinde işte var olamama algısının etkisi ve bu etkiye aracılık eden veya düzenleyen örgütsel sinizm ve yaş faktörlerinin ilişkisine ışık tutmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle araştırma modelinde yer alan işte var olmama, iş tatmini ve örgütsel sinizm kavramlarının birbiriyle ilişkisinin iş güvenliği uzmanları meslek grubu açısından değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür. Ayrıca iş güvenliği uzmanları açısından işte var olmama (presenteeism) ve iş tatmini ilişkisinde örgütsel sinizmin aracılık rolü üzerindeki etkilerinin

yaşa bağlı olarak mesleki yeterlilik açısından farklılaşıp farklılaşmadığının araştırılmasının ilgili literatüre katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

II. YÖNTEM

Bu çalışmada “işte var olamama (presenteeism)” düzeyi, “örgütsel sinizm” ve iş tatmini arasındaki ilişkiyi incelemektir. Araştırmanın odaklandığı problem, çalışanların işte var olmama düzeyinin iş tatmini üzerindeki etkisinde örgütsel sinizmin aracılık etkisidir. Buna göre araştırmanın deseni, nedensel-karşılaştırmalı (causal-comperative) model olarak belirlenmiştir. Nedensel-karşılaştırmalı modele göre var olan bir durum veya olayın nedenleri neden-sonuç etki bağlamında incelenmektedir (Büyüköztürk ve diğ. 2014: 15).

Bu araştırma neticesinde, oluşturulan kavramsal modellerde bağımsız ve bağımlı değişkenler arasında tek yönlü oklarla gösterilen her bir yol, bir neden-sonuç ilişkisini ortaya koymaktadır. Karasar'a (1998: 82) göre tarama modeli ile elde edilen bilgilerin gerçek bir neden-sonuç ilişkisi olarak kabul edilemeyeceğini belirtmekle birlikte, araştırmaların yapılmasındaki karşılaşılan ekonomik, teknik veya etik güçlükler nedeniyle tarama ile bulunan ilişkilerin neden-sonuç ilişkisi olarak yorumlanabileceğini belirtmiştir. Buna göre işte var olamamanın (presenteeism) iş tatmini üzerine etkisinde örgütsel sinizmin aracılık rolüne ait kavramsal çerçeve modeli Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. İşte Var Olamamanın (Presenteeism) İş Tatmini Üzerine Etkisinde Örgütsel Sinizmin Aracılık Rolü Kavramsal Çerçeve Modeli

Şekil 1.'de verilen araştırmanın modeline göre araştırma kapsamında incelenen temel ve alt hipotezleri aşağıda verilmiştir:

2.1. Araştırmanın temel hipotezi

Ha1: Çalışanların işte var olamama düzeyinin iş tatmini düzeyi üzerindeki doğrudan etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır.

Ha2: Çalışanların işte var olamama düzeyinin örgütsel sinizm düzeyi üzerindeki doğrudan etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır.

Ha3: Çalışanların örgütsel sinizm düzeyinin iş tatmini üzerindeki doğrudan etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır.

Ha4: Çalışanların İş tatmin düzeyi üzerinde işte var olamama düzeyi etkisinde örgütsel sinizmin aracılık rolü istatistiksel olarak anlamlıdır.

Ha5: İşte var olmama düzeyinin iş tatmini üzerindeki etkisi bireylerin yaşına göre farklılaşmaktadır.

2.2. Örneklem

Araştırmanın evrenini, kamu sektöründe çalışan iş güvenliği uzmanlarından oluşmaktadır. Araştırmanın örneklemini ulaşılabilir örnekleme yöntemi ile belirlenmiştir. Bu bağlamda araştırmanın örneklemini ise, 251 iş güvenliği uzmanlarından oluşmaktadır. Evrenden örneklem alma işleminde aracı ve düzenleyici etkilerin istatistiksel anlamlılığına 5.000 yeniden örnekleme yöntemiyle elde edilen %95 güven aralıklarından faydalanarak karar verilmiştir. %95 güven düzeyine göre örneklem büyüklüğü karşılamaktadır.

2.3. Veri Toplama Araçları

Araştırmada, veri tekniği olarak en sık kullanılan yöntem olan anket tekniğinden faydalanılmıştır. Anket Şubat 2022 – Mart 2022 tarihleri arasında uygulanmıştır. Anket formları araştırmanın örneklemini oluşturan iş güvenliği uzmanlarına çevrimiçi bir anket sitesi (Google Anket) linki ile gönderilmiştir.

Sosyal-demografik bilgi formu: Cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, işyeri kıdemleri (yıl), yönetici pozisyonunda olup olmama gibi sosyal-demografik faktörleri tespit edebilmek için katılımcılara altı soru sorulmuştur. Yaş ve kıdem soruları açık uçlu, diğer sorular kapalı uçludur.

Minnesota iş tatmin ölçeği (MSQ): Katılımcıların iş tatmin düzeylerini ölçmek için “Minnesota İş Tatmin Ölçeği (MSQ)” tercih edilmiştir. Davis vd (1967) tarafından geliştirilen ölçek, Gökçora ve Gökçora tarafından Türkçeye çevrilmiş ve Baycan (1985) tarafından ilk kez kullanılmıştır (Adıgüzel vd; akt: Heybeli vd 2014). MSQ, “Herzberg Çift Faktör Kuramı (1965)” ve “Minnesota İş Uyumu Kuramı (Lofquist ve Dawis,1978)” dikkate alınarak geliştirilmiştir (Hatipoğlu 2014). Yapısal olarak incelendiğinde MSQ, içsel ve dışsal tatmini ölçmeyi

amaçlayan 20 sorudan oluşmaktadır. Tüm soruların birlikte değerlendirilmesiyle genel iş tatminin ölçüldüğü varsayılmaktadır. Ölçekte ters madde bulunmamaktadır. Katılımcılardan her maddeye 1-Hiç memnun değilim; 5- Çok memnunuz, en düşük ve en yüksek puanlardan oluşan 5’li likert aralıklı bir tepki vermesi istenir. Yüksek puan yüksek iş tatminine işaret etmektedir. MSQ’nun iç tutarlığı, Cronbach Alpha güvenilirlik testiyle, Baycan (1985) tarafından 0,77; Özdayı (1990) tarafından 0,87 olarak raporlanmıştır (Heybeli vd, 2014). Bu çalışmanın örneklemini için yapılan Cronbach Alpha güvenilirlik testinde ise iç tutarlık katsayısı 0,94 olarak tespit edilmiştir.

Stanford presentizm ölçeği (SPS-6): Örneklemin işte var olamama algılarını ölçümlemek için kullanılan SPS-6, toplam altı maddeden oluşmaktadır. Koopman vd (1991) tarafından geliştirilen bu ölçek 5’li likert ölçektir. 1- Kesinlikle katılmıyorum; 5- Kesinlikle katılıyorum olarak derecelendirilmiştir (Hatipoğlu 2014). Ölçekten alınan puanın yüksek olduğu bireylerde/gruplarda işte var olmama algısının yüksek olduğu düşünülür. Coşkun (2012), SPS-6’nın iç tutarlık katsayısını 0,78 olarak tespit etmiştir. Güvenirliğe tehdit oluşturacak madde tespit edilememiştir. Ölçek güvenirligi iyi düzeyde olduğu değerlendirilmiştir. Coşkun (2012) ölçeğin yapı geçerliğini test etmek için açılımlı faktör analizinden yararlanmıştı. Buna göre SPS-6, toplam varyansın %75,3’nü açıklamaktadır. Çiçekoğlu (2019), ölçeğin güvenirligini iki alt boyutta test etmiştir. Buna göre iş tamamlama alt boyutunun güvenirligi 0,82; dikkat dağınıklığından kaçınma alt boyutunun güvenirligi 0,83 olarak tespit edilmiştir. Bu katsayılar ölçeğin güvenirliginin yüksek olduğunu göstermektedir (Çiçekoğlu 2019). Tarafımızca herhangi bir alt boyuta ayırmaksızın tüm maddeler için yapılan Cronbach Alpha güvenilirlik analizine göre ölçeğin iç tutarlık katsayısı 0.85’dir. Buna göre ölçek bu örnekleme de güvenirligini korumaktadır.

Brandes örgütsel sinizm ölçeği (BÖS): Bu ölçeğin Türkçe çevirisi, geçerlik ve güvenilirlik çalışmaları Erdost vd (2007) tarafından yapılmıştır. Tarafımızca örneklemden toplanan verilerle elde edilen Cronbach Alpha güvenilirlik katsayısı 0,90 olduğundan ölçek güvenirligi oldukça yüksek olarak kabul edilmiştir. Ölçek, 5’li likert derecelendirmeye sahiptir. Bireylerin ölçekten aldığı puan yüksekse, o bireylerde örgütsel sinizm düzeyinin yüksek olduğu kabul edilir.

Araştırmanın veri toplama araçlarını oluşturan ölçeklerde çıkartılması durumunda ölçeğin güvenilirlik katsayısını arttıracak madde tespit edilememiştir.

2.4. Verilerin Analizi

Araştırmanın ilk dört hipotezi (Ha1, Ha2, Ha3 ve Ha4) en küçük kareler yöntemine dayalı aracı değişkenli regresyon analizi ile sınanmıştır. Son olarak

örgütsel sinizmin aracılık etkisi üzerinde yaş faktörünün düzenleyici rolü, yönetici ve aracı değişkenli regresyon analizi ile test edilmiştir. Hipotez testlerine geçilmeden önce doğrusal regresyon modellerinin sonuçlarının güvenilirliği için sağlanması gereken varsayımlar kontrol edilmiştir (Hayes 2018; Avcı 2020). Varsayımların karşılandığı tespit edilmiştir. Hipotezleri test etmek için Hayes (2018)'in Process Macro'nun SPSS eklentisi 25.0 sürümü kullanılmıştır.

Araştırmada elde edilen verilerin analizinde aşağıdaki basamaklar kullanılmıştır:

Aracılık etkisi (mediation effect): Bağımsız değişkendirdeki değişimin, bağımlı değişkendirde neden olduğu değişimin üçüncü bir değişkenle açıklanabildiği durumlarda aracılık etkisinden söz edilebilir (Field 2013). Bağımsız değişkenin doğrudan etkisinin yanında bir başka değişken üzerinden bağımlı değişkene dolaylı etkisi ampirik olarak tahmin edilmek istendiğinde aracı değişken analizine başvurulabilir (Hayes 2018).

Düzenleyicilik etkisi (moderation effect): Bağımsız, aracı ve bağımlı değişken arasındaki ilişki örüntüsü başka değişkenlerin kontrolünde değişiyor olabilir. Değişkenler arasındaki ilişkinin mekanizmasında hangi durumda değişikliklerin meydana geldiğini tespit etmek için düzenleyicilik etki analizine başvurulabilir (Hayes 2018; Gürbüz 2019).

MSQ ölçeği toplam puanı ve SPS-6 ölçeği toplam puanı arasında doğrusal ilişki tespit edilmiştir (Doğrusallık (1,21)= 29,93;p< 0,01). MSQ toplam puanı ve BÖS ölçeği toplam puanı arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir (Doğrusallık (1,44) = 4,40; p<0,01). Bağımlı değişken ile diğer değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu varsayımı karşılanmıştır. Ayrıca SPS-6 ve BÖS arasındaki çoklu doğrusallığı test etmek için VIF ve tolranca değerleri incelenmiştir. VIF değeri<10,00 ve tolranca değeri<VIF olduğundan SPS-6 ve BÖS arasındaki çoklu doğrusallık tespit edilememiştir. Buna göre bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusallık olmadığı varsayımı karşılanmıştır. Modeldeki değişkenlerin puanlarında ekstrem değerlere rastlanmamıştır. Durbin-Watson test değerine göre hatalar tesadüfidir (DW= 1,76). Çarpıklık ve basıklık değerleri arası saçılım grafiğine göre bağımlı değişken, modeldeki diğer tüm değişken değerlerinde eşit varyans gösterdiğinden varyansların homojenliği varsayımı sağlanmıştır. Studentized residual değerlerin normal dağılım gösterdiği varsayımı karşılanmıştır (Skewness & Kurtosis= -1 < +1) (Field, 2013).

Bootstap yöntemine dayalı güven aralıkları: Yazındaki simülasyon çalışmaları göstermektedir ki dolaylı etkilerin normal dağılım göstermediğini

varsayarak geliştirilen testler, normal dağılım varsayımına dayalı Sobel testine kıyasla daha tutarlı sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu nedenle aracılık etkisi analizlerinde yeniden örnekleme sonucu elde edilen güven aralıkları dikkate alınmalıdır. Bootstap yöntemiyle yeniden örnekleme bunlardan biridir (Hayes 2018; Gürbüz 2019).

III. BULGULAR

Araştırmanın örnekleme ait verilerinin istatistiki analizinden elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

3.1. Demografik Bulgular

Örneklemin %63,35'ini erkekler; %54,58'ini 35-49 yaş grubundaki, %34,66'sını 20-34 yaş grubundaki bireyler; %47,41'ni lisans, %27,89'unu lisansüstü eğitim mezunları oluşturmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Örneklemin sosyal demografik özellikleri

Sosyal demografik özellikleri	N	%	
Cinsiyet	Erkek	159	63,35
	Kadın	92	36,65
Yaş grubu*	20-34	87	34,66
	35-49	137	54,58
	50-68	27	10,76
Eğitim düzeyi	Ön Lisans	35	13,94
	Lisans	146	58,17
	Lisansüstü	70	27,89
Medeni durumu	Bekar/Boşanmış	98	39,04
	Evli	153	60,96
Kıdem*	<=1 yıl	36	14,63
	2-4 yıl	40	16,26
	5-9 yıl	41	16,67
	10-14 yıl	36	14,63
	15-19 yıl	24	9,76
	20-24 yıl	47	19,11
>=25 yıl	22	8,94	
Şu an yönetici olup olmama durumu	Evet	92	36,65
	Hayır	159	63,35

N= 251; kıdem değişkeninde beş katılımcı cevap vermemiştir.

*Açık uçlu soru analiz esnasında gruplandırılmıştır.

Tablo 1.'e göre örneklemin %63,35'ini erkekler; %54,58'ini 35-49 yaş grubundaki, %34,66'sını 20-34 yaş grubundaki bireyler; %58,17'sini lisans, %27,89'unu lisansüstü eğitim mezunları oluşturmaktadır (Tablo 2). Evli bireyler, %60,96 oranında temsil edilmektedir. Bir yıl ve daha az süredir aynı işletmede çalışanların oranı %14,63; 2-4 yıldır çalışanların oranı % 16,26; 5-9 yıldır çalışanların oranı 16,67; 10-14 yıldır çalışanların oranı 14,63; 15-19 yıldır çalışanların oranı 9,76; 20-24 yıldır çalışanların oranı %19,11; 25 yıl ve daha fazla süredir aynı işletmede çalışanların oranı %19,11'dir. Örneklemin %63,35'i verilerin toplandığı dönemde yönetici görevinde olmadığını belirtmiştir.

Tablo 2. Yaş ve kıdem değişkenlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	X	SD	Ortanca	Min	Max
Yaş	37.76	10.59	40	20	68
Kıdem	11.80	9.39	10	0	40

Tablo 2.'ye göre örnekleme açık uçlu olarak yöneltilen yaş ve kıdem sorularının tanımlayıcı istatistikleri Tablo 3.'te verilmiştir. Örneklemin yaş ortalaması 37,76 iken, bireylerin yarısı 40 yaşından daha genç, diğer yarısı ise daha yaşlıdır. Örneklemin aynı işlerindeki kıdem ortalaması 11,80'dir. Bireylerin yarısı 10 yıldan az, diğer yarısı ise 10 yıldan fazla süredir aynı işlerinde çalışmaktadır. Aynı işyerinde en uzun süre çalışan birey, bu süreyi 40 yıl olarak belirtmiştir.

3.2. İşte Var Olmama (Presenteeism) Düzeyinin İş Tatmini Üzerindeki Etkisi ve Örgütsel Sinizmin Aracı Rolü

İşte var olmama (presenteeism) düzeyi, örgütsel sinizm ve iş tatmini arasındaki ilişkisi en küçük kareler yöntemine dayalı aracı değişkenli regresyon modeli ile test edilmiştir. Böylece çalışanların presenteeism düzeyindeki değişimin iş tatmin düzeyindeki değişime doğrudan (tek başına) etkisi; örgütsel sinizm düzeyinin iş tatmini düzeyindeki değişime doğrudan etkisi; presenteeism düzeyindeki değişimin örgütsel sinizm düzeyindeki değişime tek başına etkisi ve presenteeism düzeyinin örgütsel sinizm aracılığıyla iş tatmini düzeyindeki değişime etkisi, yani presenteeism ve örgütsel sinizmin birlikte etkisi sorgulanmıştır. Kurulan regresyon modeli örneklemdaki bireylerin iş tatminindeki değişimin %20,68'ni anlamlı olarak açıklamaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. Presenteeism ve iş tatmin düzeyi ilişkisinde örgütsel sinizm aracılık rolü

Regresyon yolu	b	se	p	%95 CI
Presenteeism --> iş tatmini	-0,4805	0,26	0,07	-0,988; 0,04
Presenteeism --> örgütsel sinizm	1,1079	0,12	0,01*	0,871; 1,332**
Örgütsel sinizm ---> iş tatmini	-0,6944	0,12	0,01*	-0,923; -0,458**
Presenteeism --> sinizm ---> iş tatmini	-0,7693	0,15	-	-1,092; -0,473**

F(2,248)= 32,32; R² = 0,2068; p<0,05
*p<0,01; ** %95 güven aralığında anlamlı farklılık.
Güven aralıkları bootstrap 5.000 yeniden örnekleme ile elde edilmiştir.

Tablo 3.'e göre örgütsel sinizm düzeyinin örneklemdaki bireylerin iş tatmini düzeyine etkisi kontrol altındayken, yani 0 kabul edilmişken işte var

olmama algısı düzeyinin iş tatmini üzerindeki doğrudan etkisinin anlamlı olduğu istatistiksel olarak tespit edilememiştir (b=- 0,4805; se= 0,26; p>0,05; %95CI= -0,988; 0,04). Buna göre örneklemin işte var olma algısı düzeyindeki değişim, iş tatmini düzeyinde bir değişime yol açtığı en azından istatistik bulgulara göre söylenemez.

Öte yandan presenteeism düzeyindeki değişimin örgütsel sinizm düzeyindeki değişime doğrudan etkisi istatistiksel açıdan anlamlıdır (b=1,1079; se= 0,12; p<0,05; %95CI= 0,87; 1,33). Bu etki pozitifdir. Örneklemdaki bireylerin presenteeism düzeyindeki bir puanlık artış, örgütsel sinizm düzeyinde 1,1079 puanlık artışa neden olmuştur (Tablo 3).

Presenteeism düzeyinin iş tatmini üzerindeki dolaylı etkisi kontrol altındayken örneklemdaki örgütsel sinizm düzeyinde meydana gelen değişimin iş tatmini düzeyindeki değişime tek başına etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır (b= -0,6944; se= 0,12; p<0,05; %95CI= -0,92; ; -0,45). Bu etki negatif yönlüdür. Yani örneklemdaki bireylerin sinizm düzeyi yükseldikçe, iş tatmin düzeyi düşmektedir; ya da sinizm düzeyi düştükçe iş tatmin düzeyi yükselmektedir.

İşte var olmama düzeyindeki değişimin iş tatmini üzerindeki tek başına etkisinin istatistiksel olarak anlamlılığı tespit edilememesine rağmen, presenteeism örgütsel sinizm düzeyindeki değişim aracılığıyla iş tatmini üzerindeki dolaylı etkisi istatistiksel açıdan anlamlıdır (b=-0,7693; se= 0,15; %95CI=-1,092; -0,473). Yani örgütsel sinizm aracılık etkisi istatistiksel açıdan anlamlıdır. Bu aracılık etkisi, tam aracılık olarak tespit edilmiştir. Çünkü presenteeism düzeyinin tek başına etkisi anlamı değilken, sinizm ile iş tatmini üzerinde yarattığı etki anlamlıdır. Dolayısıyla işte var olmama düzeyi ve örgütsel sinizm düzeyi birlikte artan katılımcıların iş tatmin düzeyi bir puanlık değişime karşılık 0,7693 azalmaktadır (Tablo 3).

3.3. Yaşa Göre Presenteeism'in İş Tatminine Etkisi ve Örgütsel Sinizmin Aracılık Rolü

Örneklemin iş tatmin düzeyindeki değişimde presenteeism ve örgütsel sinizm düzeylerindeki değişimin etkisi üzerinde bireylerin yaş faktörünün yönetici etkisi, düzenleyici etki analizi ile incelenmiştir. İşte var olmama düzeyinin örgütsel sinizm üzerinden iş tatmini düzeyindeki değişime etkisinde yaş faktörünün düzenleyici etkisi anlamlıdır. (b= -0,2699; se= 0,07; p<0,01;%95CI= -0,41; -0,12). Öte yandan presenteeism düzeyindeki değişimin iş tatmini düzeyindeki değişime tek başına etkisinin yaşa göre farklılaştığına dair güçlü istatistik bulgular elde edilememiştir (b=-0,575; se= 0,06; p>0,05; %95CI=-0,182; 0,067). Yaş faktörünün dahil edilmesiyle kurulan regresyon modeli, iş tatmin düzeyindeki varyansın %27,34'ünü anlamlı şekilde açıklamaktadır (Tablo 4).

Regresyon yolu	Z puan yaş	b	se	%95 CI
Presenteeism ---> sinizm -- -> iş tatmini	-1,39	0,0121	0,06	-0,11;0,142
	0,21	-0,2134	0,04	-0,306;-0,136*
	0,77	-0,3115	0,06	-0,458;-0,197*

Örneklem Yaş Ortalaması =37,76 ± 10,59; z puan=0,00
Minimum Yaş: 20; Maksimum 68,00
Tüm puanlar Z puana dönüştürülerek standartlaştırılmıştır.
Güven aralıkları bootstrap 5.000 yeniden örnekleme ile elde edilmiştir.
* %95 güven aralığında anlamlı farklılık.

Tablo 4.'e göre örneklem ortalamasından 1,39 standart puan ve daha genç olan bireylerde örgütsel sinizmin aracılık etkisi bakımından istatistiksel fark tespit edilememiştir (b= 0,0121; se= 0,06; %95CI=-0,11;0,142). Dolayısıyla örneklemin örgütsel sinizm puanındaki değişimin işte var olamama algısı düzeyinin iş tatmini üzerindeki etkisindeki aracılık rolünün ortalama yaştan daha genç olanlar için farklılaştığı söylenemez. Öte yandan ortalamadan 0,21-0,77 puan daha yaşlı olan katılımcılar açısından örgütsel sinizmin aracılık etkisindeki değişim istatistiksel açıdan anlamlıdır (b= -0,2134; se= 0,04; %95CI= -0,306;-0,136). Aynı şekilde ortalamadan 0,77 standart puan daha yaşlı olanlar açısından yaş faktörünün düzenleyici rolü istatistiksel olarak anlamlıdır (b= -0,3115; 0,06; %95CI= -0,458;-0,197). Buna göre yaşı, ortalamadan 0,21-0,77 standart puan yukarıda olan katılımcıların işte var olmama düzeyinin iş tatmini üzerindeki etkisi örgütsel sinizm düzeyinin bir standart puan artmasıyla artmakta ve iş tatmini düzeyi 0,21 standart puan azalmaktadır. Bu etki, ortalamadan 0,77 standart puan daha yaşlı olanlarda bir önceki gruba göre daha fazladır.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırma iş güvenliği uzmanlarının iş tatmin düzeyi üzerinde işte var olamama algısının etkisi ve bu etkiye aracılık eden veya düzenleyen örgütsel sinizm ve yaş faktörlerinin ilişkisine iş güvenliği uzmanları üzerinden incelemek üzere yapılmıştır. Bu kapsamda iş güvenliği uzmanlarından veri toplama yoluna gidilmiş, uygulamalı bir çalışma yöntemi izlenmiştir.

Araştırmada iş güvenliği uzmanlarının işte var olamama düzeyindeki değişimin iş tatmini düzeyinde tek başına etkili olduğuna dair yeterli istatistiksel kanıt elde edilememiştir. İlgili literatürde farklı sektörlerdeki örneklemlerle yapılan Wegge ve diğerleri (2007), Bozkurt ve Bozkurt (2008) Dinler (2010) ve Çelik (2018), araştırma sonuçları araştırmamızla örtüşürken, Goldberg ve Waldman (2000), Karcioğlu ve Akbaş (2010), Ardıç ve Erbaşaran (2011), Diestel ve diğerleri (2014), Özaydın ve Özdemir (2014), Çulha (2017), Kaynak ve Çiçek

(2021), Ozturk ve diğerleri (2021) ve Utami ve diğerleri (2021) tarafından yapılan araştırma sonuçları tam tersi olduğundan desteklememektedir.

Araştırmada elde edilen sonuçlara göre katılımcıların işte var olamama algısındaki artışın örgütsel sinizm düzeyini pozitif yönde etkilediği söylenebilir. Abaslı (2018), Yakın ve Sökmen (2018), Çiçeklioğlu (2019), Durmaz (2019), Prajogo ve diğerleri (2020), Da'as (2021) ve Erkal ve Naktiyok (2021), Tekin (2021) tarafından yapılan araştırma sonuçlarında elde edilen veriler araştırmamızın sonuçlarıyla paralellik gösterdiği için destekleyicidir. Bu sonuçlara göre işte var olamama algısı yüksek bireylerin örgütsel sinizm düzeylerinin de yüksek olma olasılığı istatistiksel açıdan mümkün olduğu söylenebilir.

Katılımcıların örgütsel sinizm düzeyi yüksek bireylerin, iş tatmin düzeylerinin düşük olma olasılığı istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu anlamlılık, düşük örgütsel sinizm düzeyine karşılık yüksek iş tatmini için de geçerlidir. İlgili literatürde Arabac (2010), Khan ve diğerleri (2016), Grama (2017), Arslan ve Şimşek (2018), Kosa (2019), Koçak ve Boyalı (2020), Işkın (2021) ve Uslu (2021) tarafından yapılan araştırmalar da araştırma sonuçlarıyla benzer olduğundan destekleyicidir.

Araştırma sonuçlarına göre, işte var olmama düzeyindeki değişim, bireylerin iş tatmini düzeyindeki değişimi tek başına anlamlı olarak etkileyemese de örgütsel sinizm düzeyindeki değişimle birlikteki etkisi anlamlıdır. İki değişimdeki değişimin iş tatmin düzeyi üzerindeki etkisi negatiftir. Yani presenteeism ve örgütsel sinizm düzeyleri birlikte artan bireylerin iş tatmin düzeyinin yüksek olma olasılığı istatistiksel olarak düşüktür. Dolayısıyla bireylerin presenteeism düzeyi ve iş tatmin düzeyi arasındaki ilişkide örgütsel sinizm düzeyinin aracılık rolü tam aracılık şeklinde gerçekleşmektedir.

Bu çalışmada sorgulanan bir diğer konu ise, işte var olmama, örgütsel sinizm ve iş tatmini arasındaki mekanizmanın yaş faktörüne göre farklılaşıp farklılaşmadığıdır. Elde edilen istatistiksel bulgulara göre, yaş faktörü presenteeism düzeyinin iş tatmini üzerindeki tek başına etkisinde farklılık yaratmamaktadır. Ancak örgütsel sinizm düzeyinin aracılık etkisi ve yaş faktörünün etkileşimi, presenteeism düzeyindeki değişimin iş tatmini üzerindeki değişime etkisinde farklılaşmaya neden olmaktadır. Yaş arttıkça, presenteeism sinizm aracılığıyla iş tatmini üzerindeki etkisi artma eğilimindedir. Yani ortalamaya göre orta ve ileri yaşlarda olanların presenteeism algısı ve örgütsel sinizm düzeyleri arttıkça iş tatmini düşme eğilimindedir. Kavramlarla ilgili araştırmalarda örgütsel sinizmi etkileyen çok sayıda bireysel ve örgütsel faktörden bahsedilmiştir. Sinizm üzerine etkide bulunan bireysel faktörler genellikle; cinsiyet,

yaş, eğitim, medeni durum açısından ele alınmıştır. Fakat sinizmin bu faktörlerle ilişkisi net bir şekilde ortaya konulamamıştır.

Araştırmanın sonuçlarına göre konu ile ilgili araştırma yapacak uygulayıcılar (akademisyenler/araştırmacılar) için aşağıdaki öneriler verilmiştir:

- Araştırmanın örnekleme basit tesadüfi örnekleme yöntemiyle seçildiğinden kesitsel bir araştırmadır. Bu nedenle farklı çalışma grupları ve örnekleme yöntemleriyle nicel ve nitel araştırmalar kullanılarak karma yöntem araştırmaları uygulanabilir. Böylece araştırma amacı kapsamında derinlemesine sonuçlar elde edilebilir.
- Araştırma kapsamı farklı değişkenler eklenerek kavramlar arası ilişkiler farklı sektörlerde ele alınabilir. Örnek olarak sinizmin alt boyutları olan bilişsel, duyuşsal ve davranışsal sinizm de modele ilave edilerek inceleme alanı genişletilebilir. Yine sinizmin ve tükenmişliğin örgütsel adalet, psikolojik sözleşme ihlali, örgütsel politikalar gibi öncüllerinin ve işten ayrılma niyeti, örgütsel bağlılık, iş tatmini gibi ardılarının modele ilavesi farklı araştırmalar yapılabilir.
- Araştırma farklı sektör çalışanlarını da dâhil ederek detaylandırılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Abaslı, K. (2018). Örgütsel dışlanma, işe yabancılaşma ve örgütsel sinizm ilişkisine yönelik öğretmen görüşleri (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [2] Arabac, I. B. (2010). The effects of depersonalization and organizational cynicism levels on the job satisfaction of educational inspectors. *African Journal of Business Management*, 4(13), 2802-2811.
- [3] Ardıç, K., & Erbaşaran, Z. (2011). İşkoliklik ve iş tatmini arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(4), 334-346.
- [4] Aronsson, G., Gustafsson, K., & Dallner, M. (2000). Sick but yet at work an empirical study of sickness presenteeism. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 54(7), 502-509.
- [5] Arslan, A., & Şimşek, G. (2018). Örgütsel sinizm ve iş tatmini arasındaki ilişkiler: aydın turist rehberleri odası'na kayıtlı olan profesyonel turist rehberleri örneği. *Journal of Travel and Tourism Research*, (13), 115-134.
- [6] Avcı, S. (2020). Spss ve Amos ile uygulamalı istatistik eğitimi [Video]. Udey. 15 Mart 2022 tarihinde, <https://www.udemy.com/course/spss-ve-amos-ile-uygulamal-istatistik-egitimi/> adresinden erişildi.
- [7] Bozkurt, Ö., & Bozkurt, İ. (2008). İş tatminini etkileyen işletme içi faktörlerin eğitim sektörü açısından değerlendirilmesine yönelik bir alan araştırması. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 9(1), 1-18.
- [8] Büyüköztürk, Ş. Çakmak, E.K. Akgün, Ö.E. Karadeniz, Ş., & Demirel, F. (2014). *Bilimsel araştırma yöntemleri*. Ankara: Pegem Akademi.
- [9] Çelik, H. (2018). Presenteeism'in iş doyumu ve tükenmişlik düzeyine etkisi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gaziantep Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- [10] Çiçekoğlu, H. (2019). *Presenteeism (işte var olamama), duygusal emek ve örgütsel vatandaşlık davranışının performans üzerine etkileri: eğitim çalışanları üzerine bir araştırma* (Yayımlanmamış doktora tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [11] Çiftçi, B. (2010). İşte var ol(ama)ma sorunu ve işletmelerin uygulayabileceği çözüm önerileri. *Çalışma ve Toplum Dergisi*, 1 (1), 153-174.
- [12] Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2002). *Research methods in education*. Routledge.
- [13] Coşkun, Ö. (2012). *İki işyerinde işe devamsızlık ve kendini işe erememede etkili faktörlerin değerlendirilmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [14] Çulha, Y. (2017). Okul psikolojik danışmanlarının müdürlerinin liderlik stillerini algıları ile kendi iş doyumu ve tükenmişlik düzeyleri arasındaki ilişkinin incelenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Da'as, R. (2021). School principals' skills and teacher absenteeism during Israeli educational reform: Exploring the mediating role of participation in decision-making, trust and job satisfaction. *Journal of Educational Change*, 22(1), 53-84.
- [16] Diestel, S., Wegge, J., & Schmidt, K. H. (2014). The impact of social context on the relationship between individual job satisfaction and absenteeism: The roles of different foci of job satisfaction and work-unit absenteeism. *Academy of Management Journal*, 57(2), 353-382.
- [17] Dinler, A. (2010). Isparta ili otel işletmelerinde çalışanların iş doyumu ve tükenmişlik düzeyleri ile etkileyen etmenler (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi).

- Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [18] Durmaz, C. (2019). Babacan liderlik-örgütsel sinizm ilişkisinde yıldırma değişkeninin aracı, bireycilik-toplulukçuluk değişkeninin düzenleyici rolü (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [19] Erdost, H. E., Karacaoğlu, K., & Reyhanoğlu, M. (2007). Örgütsel sinizm kavramı ve ilgili ölçeklerin Türkiye'deki bir firmada test edilmesi (ss.514-524). 15. National Management and Organization Congress (25-7 May 2007), Sakarya University, Sakarya.
- [20] Erkal, E. A., & Naktiyok, A. (2021). İşte var olamama bağlamında örgütsel sinizmin tükenmişlik üzerine etkisi: Atatürk Üniversitesi HELİTAM örneği. *Journal of Life Economics*, 8(4), 443-454.
- [21] Field, A. (2013). *Discovering statistic using IBM SPSS Statistics* (4. Edition). Sage Publications.
- [22] Goldberg, C. B., & Waldman, D. A. (2000). Modeling employee absenteeism: Testing alternative measures and mediated effects based on job satisfaction. *Journal of Organizational Behavior: The International Journal of Industrial, Occupational and Organizational Psychology and Behavior*, 21(6), 665-676.
- [23] Grama, B. (2017). Organizational cynicism: Its relationship with job satisfaction. *Revista Economică*, 69(1), 42-51.
- [24] Günbeyi M., & Gündoğdu T. (2010). Polis teşkilatının işkolik çalışanları. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 11(1), 56-63.
- [25] Gurbuz, S. (2019). *Sosyal bilimlerde aracı, düzenleyici ve durumsal etki analizleri*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- [26] Hatipoğlu, Z. (2014). *Örgütsel bağlılık ve iş tatmini arasındaki ilişkinin x ve y kuşaklarına göre farklılıklarının incelenmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Hayes, A.F. (2018). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis- a regression-based approach* (2nd Edition). The Guilford Press.
- [28] Heybeli, B., Kayihan, B., & Tepeli, Y. (2014). Muhasebe meslek mensuplarının iş tatmin düzeylerinin demografik değişkenlere göre incelenmesi: Muğla ili örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(2), 155-165.
- [29] Işkın, M. (2021). Turizm işletmeleri çalışanlarının çalışma yaşamı kalitesi, iş tatmini düzeyleri ve performansları: Eğitim ve geliştirme faaliyetlerinin aracı ve örgütsel sinizm. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 9(3), 1972-1991.
- [30] Karasar, N. (1998). *Bilimsel araştırma yöntemi*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- [31] Karcioğlu, F., & Akbaş, S. (2010). İşyerinde psikolojik şiddet ve iş tatmini ilişkisi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(3), 139-161.
- [32] Kaynak, İ., & Çiçek, B. (2021). İşe yabancılaşmanın işte var olamama ve işten ayrılma niyetine etkisinde babacan liderliğin rolü. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(22), 568-593.
- [33] Khan, R., Naseem, A., & Masood, S. A. (2016). Effect of continuance commitment and organizational cynicism on employee satisfaction in engineering organizations. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 7(4), 141.
- [34] Koçak, R. D., & Boyalı, G. A. E. (2020). Sağlık çalışanlarında psikolojik sermaye, iş tatmini ve örgütsel sinizm ilişkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 11(26), 136-153.
- [35] Kosa, G. (2019). Örgütsel sinizm ve iş doyum ilişkisi: Banka çalışanları üzerine bir araştırma. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(19), 182-213.
- [36] Luthans, F. (1994). *Organizational behavior*. New York: Mcgraw-Hill, 1994.
- [37] Luthans, F. (2011). *Organizational behavior: An evidence-based approach*. New York: Mcgraw-Hill/Irwin.
- [38] Nawawi, I. (2013). *Organizational culture of leadership and performance*. Jakarta: Prenadamedia.
- [39] Olorunsola, E. O. (2013). Jobsatisfactionanditspredictivemeasures on jobsatisfaction of administrative staff in South West Nigeria Universities. *European Scientific Journal*, 9(23), 167-174.
- [40] Özaydın, M. M., & Özdemir, Ö. (2014). Çalışanların bireysel özelliklerinin iş tatmini üzerindeki etkileri: Bir kamu bankası örneği. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 251-281.
- [41] Ozturk, A., Karatepe, O. M., & Okumus, F. (2021). The effect of servant leadership on hotel employees' behavioral consequences: Work engagement versus job satisfaction. *International Journal of Hospitality Management*, 97, 102994.
- [42] Prajogo, W., Kusumawati, H., & Wijaya, N. H. S. (2020). Organizational culture as determinant of employee-based antecedents to organizational cynicism. *Humanities & Social Sciences Reviews*, 8(1), 881-886.
- [43] Robbins, S. P., & Coulter, M. (2012). *Management* (11. Baskı). New Jersey: PrenticeHall.

- [44] Sarp, P., Kumral, T., & Bozkurt, S. (2019). Babacan liderlik ve işte var olamama ilişkisinde iş güvencesinin aracı rolü. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (41), 161-168.
- [45] Spector, P. E. (1997). *Jobsatisfaction: application, assessment, causes, and consequences*. California. Sage Publications.
- [46] Sudaryo, Y., Ariwibowo, A., & Sofiati, N. A. (2018). *Human resource management Indirect compensation andp hysical worker invironment*. Yokyakarta: CV AndiOffset.
- [47] Tekin, D. (2021). İşe yabancılaşma ve örgütsel sinizmin üretkenlik karşıtı iş davranışlarına etkisi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde.
- [48] Uslu, A. (2021). Algılanan örgütsel adaletin örgütsel bağlılık örgütsel sinizm ve iş tatmini üzerine etkisi: TRB1 bölgesi örneği (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bingöl.
- [49] Utami, P. P., Widiatna, A. D., Karyati, F., & Nurvrita, A. S. (2021). Does Civil Servant Teachers' Job Satisfaction Influence Their Absenteeism?. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 10(3), 854-863.
- [50] Wegge, J., Schmidt, K. H., Parkes, C., & Van Dick, R. (2007). Taking a sickie: Job satisfaction and job involvement as interactive predictors of absenteeism in a public organization. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 80(1), 77-89.
- [51] Worrell, T. G. (2004). School Psychologists' jobsatisfaction: Ten yearslater. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Virginia PolytechnicInstitute.
- [52] Yakın, B., & Sökmen, A. (2018). Sosyal kaytarmanın örgütsel sinizme etkisinde zorunlu vatandaşlık davranışının aracılık rolü: Sosyal ağ gruplarında bir araştırma. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(2), 399-416.
- [53] Yücel, E. (2020). Presenteizm ve iş tatmini arasındaki ilişki: turizm sektöründe bir araştırma. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 29(1), 226-238

Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bir Risk Analizi Uygulaması

Application of a Risk Analysis with Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methods

Süleyman Enes HACİBEKTAŞOĞLU¹ , Bülent MERTOĞLU² , Hakan TOZAN³ 

¹ Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) faaliyetleriyle işyerlerinde çalışanların ruhen ve bedenen tam bir iyilik halinde olması hedeflenmektedir. Bu faaliyetlerin en önemlilerinden birisi işyerlerinde uygulanacak olan risk analizleridir. Risk analizleriyle işyerlerinde mevcut olan tehlikeler ve bu tehlikelerin neden olabileceği potansiyel riskler belirlenerek iş kazalarının yaşanmaması ya da minimize edilmesi için gerekli önlemler alınmaktadır. Literatürde kullanılmakta olan çeşitli risk analiz yöntemleri bulunmaktadır. Ülkemizden en küçük işyerlerinden en büyük işyerine kadar yaygın bir kullanım düzeyine sahip olan Fine-Kinney yöntemi bu risk analiz yöntemlerinden birisidir. Bu çalışmada geleneksel Fine-Kinney yönteminin bulanık mantık tabanlı çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerine entegrasyonu ile daha kullanışlı ve hassas hibrit bir risk analizi yöntemi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç için ilgili ÇKKV yöntemleri bulanık mantık tabanlı olarak kullanılmış olup bu sayede karar verici uzmanlar için daha uygun olan sözel terimlerin kullanımıyla daha anlamlı ve kullanışlı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle çalışma için kriter olarak Fine-Kinney yönteminin olasılık, frekans ve şiddet kriterleri tercih edilmiştir. Bu kriterler iş güvenliği uzmanları tarafından f-SWARA ÇKKV yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Yapılan ağırlıklandırma işlemi sonucunda olasılık, frekans ve şiddet kriterleri için sırasıyla 0,198, 0,276 ve 0,526 değerleri elde edilmiştir. Daha sonra ağırlıklı kriter değerlerinin f-VIKOR yöntemine entegrasyonu ile analizler gerçekleştirilerek tehlikelerin öncelik sıraları belirlenmiştir. Çalışma sonunda geleneksel yöntemle yapılan analiz sonuçlarıyla önerilen hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemi analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmayla risk analizlerinde kullanılan kriterlerin ağırlıklandırılmasının önemli bir durum olduğu ayrıca risk analizlerinde bulanık mantık tabanlı ÇKKV yöntemlerinin kullanımının insan kaynaklı hataları minimize etmede büyük katkısı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İSG, risk analizi, bulanık mantık, Fine-Kinney, f-SWARA, f-VIKOR.

Abstract

Occupational Health and Safety (OHS) activities, are aimed that the employees in the workplaces are in a complete mental and physical well-being. One of these activities is the risk analysis to be applied in the workplaces. The hazards existing in the workplaces and the potential risks that may be caused by these hazards are determined through risk analysis, and necessary precautions are taken to prevent or minimize occupational accidents. There are various risk analysis methods used in the literature. Fine-Kinney method, which has a widespread usage from the smallest to the largest workplace in our country, is one of these risk analysis methods. In this study, it is aimed to develop a more useful and sensitive hybrid risk analysis method by integrating the traditional Fine-Kinney method with fuzzy logic-based multi-criteria decision making (MCDM) methods. For this purpose, the relevant MCDM methods were used as fuzzy logic-based, so a more meaningful and useful method was developed by using linguistic terms that are more suitable for decision makers. In this context, probability, exposure and severity criteria of the Fine-Kinney method were preferred as criteria for this study. These criteria were weighted by the occupational safety experts with the f-SWARA MCDM method. As a result of the weighting process, 0.198, 0.276 and 0.526 values were obtained for probability, exposure and severity criteria, respectively. Then, by integrating the weighted criteria values into the f-VIKOR method, analyzes were performed and the priority order of the hazards was determined. At the end of the study, the results of the analysis made with the traditional method and the results of the analysis of the hybrid f-SWARA&f-VIKOR method proposed within the scope of the study were compared. In this study, it has been obtained that the weighting of the criteria used in risk analysis is a significant situation, and the use of fuzzy logic-based MCDM methods in risk analysis has a major contribution in minimizing human-induced errors.

Keywords: OHS, risk analysis, fuzzy logic, Fine-Kinney, f-SWARA, f-VIKOR.

I. GİRİŞ

Toplumsal bilincin ve kültürün artmasının etkisiyle iş güvenliği günümüzde yaygın olarak karşımıza çıkan konulardan birisi haline gelmiştir. İşyerlerinde iş kazalarının yaşanması istenmeyen durumların başında gelmektedir. Bu kazaları önlemek için devlete, işverene ve çalışanlara büyük görev ve sorumluluklar

düşmektedir. Bu bağlamda önleyici ve düzeltici çeşitli faaliyetler belirlenmekte ve uygulanmaktadır [1-2].

İşyerlerinde uygulanacak iş güvenliği faaliyetlerinin belirlenmesindeki en önemli aşama risk analizinin yapılmasıdır. Literatürde nicel ve nitel yöntemlere dayalı çeşitli risk analizi metotları bulunmaktadır. Bunların arasında yapılacak analiz için seçilecek olan yöntem işyerine uygun olmalıdır [3]. Analiz yapılmadan önce işyerlerinde karşılaşılabilecek tehlikelerin tespiti özenle yapılmalıdır. Çünkü yapılacak hesaplamalar ve alınacak önlemler bu tehlikelere göre belirlenecektir. Tespit edilmeyen her bir tehlike önlem alınmamış bir risk olarak karşımıza çıkacaktır [4].

Gelişen teknolojiyle birlikte işyerlerinde yürütülen proseslerde de büyük gelişmeler yaşanmıştır. Buna bağlı olarak işyerlerinde karşılaşılabilecek muhtemel yeni tehlikeler ortaya çıkmaktadır. Bu tehlikeleri değerlendirmek için literatürde yapılmış birçok risk analizi bulunmaktadır. Günümüzde risk analizi uygulamalarında çok kriterli karar verme (ÇKKV) metotlarının kullanımı artmaya başlamıştır. Bu yöntemler karmaşık problemlerin çözümünde büyük kolaylık sağlamaktadır. Literatürde kullanılan çeşitli ÇKKV yöntemleri bulunmaktadır [5-9].

İşyerlerinde yaygın olarak kullanılan klasik risk analizi yöntemlerinde risk skoru hesabında kullanılan kriterlere iş güvenliği uzmanları tarafından sayısal değerler verilmektedir. Risk skoru bu sayısal değerlerin matematiksel çarpımı ile elde edilmektedir. Bu durum çeşitli belirsizliklere yol açmaktadır. Örneğin, Fine-Kinney risk analizi yöntemi ile yapılacak bir hesaplamada olasılık (O), frekans (F) ve şiddet (S) parametrelerine birinci tehlike için sırasıyla 1, 2, 40 ve ikinci tehlike için 6, 6, 3 değerlerinin atandığını varsayarsak ölümle sonuçlanacak olan birinci tehlike, sakatlanmaya neden olacak ikinci tehlikeden daha önemsiz olacaktır. Bu durum kullanılan kriterlerin eşit ağırlıkta olamayacağını göstermektedir ve bu kriterlerin uygun yöntemlerle ağırlıklandırılması gerekmektedir. Ayrıca kriterlerin sayısal değerlerle ifade edilmesi anlam karmaşasına yol açabilmektedir. Bu nedenle kriterler sayısal değerler yerine insan doğasına daha uygun olan sözel terimlerle ifade edilip sonrasında bulanık mantık yardımıyla nümerikleştirilirse daha iyi sonuçlar alınabilecektir.

Bu çalışmada kimya endüstrisinde yer alan bir işletmeden alınan klasik Fine-Kinney yöntemiyle yapılmış olan risk analizinin bulanık mantık tabanlı entegre f-SWARA&f-VIKOR ÇKKV yöntemleriyle modellenmesi yapılmıştır.

II. ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

2.1. Fine-Kinney Risk Analizi Yöntemi

Klasik Fine-Kinney yönteminde olasılık, frekans ve şiddet parametreleri kullanılmaktadır. Bu

parametrelerin matematiksel çarpımıyla risk skoru elde edilmektedir [10-12]. Tablo 1'de bu parametrelere ait ölçekler ve Tablo 2'de risk skoru aralığına göre önlem öncelik durumları gösterilmiştir.

2.2. f-SWARA Yöntemi

ÇKKV yöntemlerinden birisi olan Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) 2010 yılında Kersulieni ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemle karar verme işlemlerinde belirlenen kriterlerin birbirlerine göre önem seviyeleri karar vericiler tarafından belirlenerek ağırlıklandırma yapılmaktadır. Çünkü bütün kriterlerin önem seviyesi aynı düzeyde olmamalıdır [13-16]. Bu çalışmada kullanılan yeni risk analizi uygulamasında SWARA yöntemi bulanık mantık tabanlı olarak kriter ağırlıklandırılması işleminde kullanılmıştır.

SWARA yöntemi karar verme süreçlerinde kullanılan kriterlerin ifade edilmesi ve önem derecelerinin belirlenmesi aşamalarında ortaya çıkan belirsizliklerin ortadan kaldırılması için kullanılmaktadır. Bu yöntemde karar vericilerin görüş ve düşünceleri sürece kolay bir şekilde dahil edilebilmektedir. Basit, sade ve anlaşılır bir yöntem olması önemli avantajlarından [17-20].

2.3. f-VIKOR Yöntemi

Çok kriterli karmaşık sistemlerin optimize edilmesi için Opricovic tarafından VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) ÇKKV metodu geliştirilmiştir. Bu yöntem Opricovic ve Tzeng'in 2004 yılında yapmış oldukları çalışmayla ÇKKV problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Yöntem alternatifler için kriterlerin değerlendirilmesiyle uzlaşık bir çözümün elde edilmesi esasına dayanmaktadır. Belirlenen bu uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın çözüm olmaktadır [21-24].

2011 yılında Opricovic tarafından bulanık mantık tabanlı VIKOR yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde kriterlerin karşılaştırılması yapılarak sıralaması yapılır. f-VIKOR yönteminde VIKOR'dan farklı olarak bulanık sayılar kullanılmaktadır [25-29]. Burada karar vericiler sözel terimler kullanarak alternatifleri derecelendirmektedir. Bu sözel terimler Tablo 4'te yer alan bulanık sayı karşılıklarına göre nümerikleştirilmektedir.

2.4. f-SWARA&f-VIKOR Yöntemi

Bu yöntemde geleneksel Fine-Kinney yöntemi ile yapılmış olan bir risk analizi için öncelikle f-SWARA yardımıyla kriterler ağırlıklandırılmaktadır. Yapılan kriter ağırlıklandırması sonrasında f-VIKOR yöntemiyle tehlikelerin/alternatiflerin analizi yapılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda alternatifler risk durumuna göre sıralanmaktadır. Şekil 1'de bu hibrit yöntemin akış şeması gösterilmiştir.

Tablo 1. Olasılık, şiddet ve frekans değerleri tablosu [10].

Olasılık	Değer	Frekans	Değer	Şiddet	Değer
Çok kuvvetli ihtimal	10	Sürekli	10	Felaket (Çoklu ölümler, ya da $> \$10^7$ hasar)	100
Kuvvetli ihtimal	6	Sıklıkla	6	Çok kötü (Birkaç ölüm, ya da $> \$10^6$ hasar)	40
Nadir fakat olabilir	3	Ara sıra	3	Çok ciddi (Ölümcül, ya da $> \$10^5$ hasar)	15
Oldukça düşük ihtimal	1	Nadir	2	Ciddi (Ciddi sakatlık, ya da $\$10^4$ hasar)	7
Zayıf ihtimal	0.5	Oldukça nadir	1	Önemli (Sakatlık, ya da $\$10^3$ hasar)	3
Pratik olarak imkansız	0.2	Çok nadir	0.5	Dikkate alınmalı (Küçük ilk yardım gerektiren kazalar, ya da $> \$100$ hasar)	1
Neredeyse imkansız	0.1				

Tablo 2. Risk skoruna göre uygulanması gereken eylem tablosu [10].

Risk Skoru	Risk Durumu
>400	Çok yüksek risk; Çalışmaya ara verilerek derhal tedbir alınmalı
200 - 400	Yüksek risk; Kısa vadeli eylem planına alınarak giderilmeli
70 - 200	Önemli risk; Dikkatle izlenmeli ve yıllık eylem planına alınarak giderilmeli
20 - 70	Muhtemel risk; Eylem planına alınmalı.
<20	Risk; Kabul edilebilir.

**Şekil 1.** Hibrit f-SWARA&f-VIKOR metodunun akış şeması

Bu çalışma kapsamında risk analizi uygulaması için önermiş olduğumuz f-SWARA&f-VIKOR yöntemi üç işlem basamağından oluşmaktadır.

1. *Basamak: Kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi (Geleneksel Fine-Kinney Yöntemi)*

Bu çalışmada kriterlerin belirlenmesinde Fine-Kinney yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntemde kriterler bu yöntemin kriterleri olan olasılık, frekans ve şiddet olarak seçilmiştir. Bu yöntemde risk skoru ilgili kriterlerin matematiksel çarpımıyla elde edilmektedir [1,5,6].

$$RS = O \times F \times \S \quad (1)$$

Geleneksel Fine-Kinney yönteminde Kinney tarafından O, F ve \S kriterleri, risk skoru ve bu skora göre alınacak aksiyonlar için ayrı ayrı referans değerlerin yer aldığı ölçek geliştirilmiştir. Bu yöntemde risk skoru kriterler için Tablo 1 ve bu skora göre alınacak önlemler Tablo 2'deki veriler kullanılarak belirlenmektedir [6].

2. *Basamak: Kriterlerin ağırlıklandırılması (f-SWARA Yöntemi)*

Önerilen yöntemimiz kapsamında kriterlerin (O, F ve \S) ağırlıklandırılması işlemi f-SWARA yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemin işlem adımları aşağıdaki gibidir [13-16].

1. Adım: Bu adımda karar verici yardımıyla kriterlerin önem derecesinin yüksekte düşüğe sıralaması ve ilgili kriterlerin Tablo 3'teki sözel terimlerle skorlaması yapılmaktadır. Eğer birden fazla karar verici varsa her bir karar verici değerlendirmesini yaptıktan sonra nihai değer tespiti için geometrik ortalama kullanılmaktadır.

Tablo 3. Kriter değerlendirilmesi için kullanılan sözel terimler

Sözel terimler	Bulanık sayılar
Etkisiz (E)	(1, 1, 2)
Çok Düşük (ÇD)	(1, 2, 3)
Düşük (D)	(2, 3, 4)
Biraz Düşük (BD)	(3, 4, 5)
Orta (O)	(4, 5, 6)
Biraz Yüksek (BY)	(5, 6, 7)
Yüksek (Y)	(6, 7, 8)
Çok Yüksek (ÇY)	(7, 8, 9)

2. Adım: Bütün kriterlerin nispi önem dereceleri belirlenir. Bu işlem için j . kriter ($j+1$). kriterle karşılaştırılarak j . kriterin ($j+1$). kritere göre önem seviyesi tespit edilir. Elde edilen bu s_j değeri "ortalama değer karşılaştırılmalı önemi" olarak adlandırılmaktadır.

3. Adım: Bu adımda k_j katsayıları belirlenmektedir.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_{j+1} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

4. Adım: Bu adımda q_j değişkeni belirlenmektedir.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (3)$$

5. Adım: Değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıkları şu şekilde belirlenir: Burada; w_j , değeri j . kriterin göreceli ağırlığını ifade etmektedir.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (4)$$

Bu çalışmada SWARA yöntemi bulanık mantık tabanlı olarak kullanılacaktır. Bu sebeple karar vericiler kriterlerin önem durumlarını Tablo 3'teki sözel terimleri kullanarak ifade edecektir. Daha sonra sözel ifadeler karşılık gelen bulanık sayılar kullanılarak durulaştırma işlemi yapılacaktır.

3. *Basamak: Tehlikelerin/alternatiflerin analizi (f-VIKOR Yöntemi)*

1. Adım: Sözel terimlerin belirlenmesi:
Bu aşamada karar vericiler belirlenen alternatifler için bulanık mantık tabanlı sözel ifadelerle kriterleri skorlamaktadır. Kullanılacak olan sözel terimlerin bulanık sayı karşılıkları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Tehlike/alternatif değerlendirme işlemi için kullanılan sözel terimlerin bulanık sayı karşılıkları

Sözel Terimler	Bulanık Sayılar (l,m,u)
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Biraz Kötü (BK)	(0, 1, 3)
Kötü (K)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

2. Adım: Bulanık karar matrisinin oluşturulması:

Bu aşamada, satırlarda m adet alternatifin sütunlarda ise her alternatifin değerlendirildiği n adet kriterin ifade edildiği bir $m \times n$ boyutunda bulanık karar matrisi oluşturulmaktadır. Bu aşamada kullanılan kriterler f-SWARA yöntemi yardımıyla bir önceki aşamada ağırlıklandırılmıştır.

$$D = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_n \\ f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & f_{m3} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

3. Adım: Bu aşamada her bir kriter için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri elde edilir. Burada “i” kıyaslama kriterlerini ($i=1,2,3,\dots,n$) “j” ise alternatifleri ($j=1,2,3,\dots,m$) göstermektedir. Eşitlik 5 ve 6 kullanılarak en iyi ve en kötü değerler tüm kriterler için tespit edilir.

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad (5)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (6)$$

4. Adım: Bütün kriterler için (f_i^*) ve (f_i^-) değerlerinin elde edilmesiyle tüm alternatifler için S_j ve R_j değerleri hesaplanır. Eşitlik 7’de yer alan S_j ortalama grup değerini, Eşitlik 8’deki R_j ise en kötü grup değerini ifade etmektedir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n \frac{w_j(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (7)$$

$$R_j = \max \left[\frac{w_j(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \right] \quad (8)$$

Eşitlik 7 ve Eşitlik 8’de kullanılan w_j kriter ağırlık değerleri 2. Aşamada f-SWARA yöntemiyle hesaplanmış olan değerlerdir.

5. Adım: Bu aşamada her bir alternatif için Q_j değeri hesaplanarak maksimum grup faydası belirlenir.

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (9)$$

Eşitlik 9’daki S^* ve R^* değerleri en küçük S_j ve R_j değerlerini, S^- ve R^- değerleri de en büyük S_j ve R_j değerlerini ifade etmektedir. Ayrıca v değeri maksimum grup faydasının ağırlık değerini ve $(1-v)$ değeri ise farklı düşünceye sahip karar vericilerin minimum pişmanlık değerini göstermektedir. Literatürde genelde $v=0,5$ uyuşma değeri kullanılmaktadır [13]. Ancak tüm ihtimalleri belirlemek ve uygun v değerini tespit etmek için bu çalışmada

sırasıyla $v=0, v=0,25, v=0,50, v=0,75$ ve $v=1,00$ değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılacaktır.

6. Adım: Bütün alternatifler için en küçük değerden en büyük değere doğru elde edilen S_j , R_j ve Q_j değerlerinin sıralamaları yapılır.
7. Adım: S_j , R_j ve Q_j değerleri için yapılmış olan sıralamaya göre uzman karar vericiler için kabul edilebilir avantaj (C_1) ve kabul edilebilir istikrar (C_2) kümeleri tespit edilir. Eşitlik 10’da belirtilmiş olan şartı sağlayan alternatifler C_1 (Kabul Edilebilir Avantaj) kümesinde yer alacaktır.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq Q(D) \quad (10)$$

$$Q(D) = \frac{1}{(m-1)} \quad (11)$$

m adet alternatif için $Q(D)$ değeri Eşitlik 11’de gösterildiği gibi hesaplanır. Eşitlik 9’a göre bütün Q_j değerleri hesaplanarak alternatiflerin kümeleri elde edilir.

III. ÖNERİLEN HİBRİT YÖNTEM İLE RİSK ANALİZİ UYGULAMASI

Türkiye’de kimyasal kullanımının yoğun olduğu bir işyeri için yapılmış olan Fine-Kinney risk analizinin bir bölümü bu yöntem ile analiz edilmiştir. Yapılan analizde Tablo 5’te yer alan 18 adet tehlike bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır. Bu bağlamda öncelikle f-SWARA yardımıyla risk analizinde kullanılan O, F, S kriterleri ağırlıklandırılmıştır. Bu işlem için iş güvenliği uzmanı olan üç karar vericiden yardım alınmıştır. Yapılan kriter ağırlıklandırması sonrasında f-VIKOR yöntemiyle tehlikeler/alternatifler analiz edilerek sıralama yapılmıştır.

Ağırlıklandırma işlemi yapılırken tüm uzmanlardan f-SWARA yöntemi gereğince kriterleri etkiliden etkisize sıralaması ve her bir kriterin birbirine etki derecesini sözel terimlerle ifade etmesi istenmiştir. Bu çalışma için skora işlemi yapan tüm uzmanlar kriterleri en etkiliden en etkisize şiddet, frekans ve olasılık olarak aynı şekilde sıralamıştır. Tablo 6’da uzmanların Tablo 3’teki sözel terimlere göre kriterlerin birbirine göre etki derecelerinin ifadeleri yer almaktadır. Burada frekans sekmesindeki ifadeler şiddetin frekansa ve olasılık sekmesindeki ifadeler de frekansın olasılığa etkisini göstermektedir.

Tablo 5. Geleneksel Fine-Kinney Risk Analizi

Tehlike Kodu	Tehlikeler	Muhtemel Etkiler	Geleneksel Fine-Kinney Risk Analizi			Risk Skoru	Risk Sırası
			Olasılık	Frekans	Şiddet		
T1	Yük kaldırma, taşıma	Bel ağrısı, KİSH	1	3	7	21	15
T2	Toz/Sıvı kimyasala maruziyet	Göz, deri ve solunum sisteminde tahriş	1	6	7	42	14
T3	Basınçlı ekipman/malzeme basıncı etkisiyle bağlantının kopması	Kimyasalla temas, yaralanma	1	6	15	90	11
T4	Basınç göstergeleri çalışmayan ya da kırık olan basınçlı ekipman/malzeme kullanımı	Yaralanma, yanık	0,5	1	40	20	16
T5	İşe uygun olmayan personelin yüksekte çalışması ve yüksekte düşmesi	Ölüm, Kırık, Yaralanma, Sakatlık	6	6	40	1440	1
T6	Hammadde silo motoru ve havalı pompaların gürültüsü	İşitme kaybı, Meslek Hastalığı	1	3	40	120	9
T7	Silobasın dizel veya elektrik motorlu kompresörünün arızalanması, patlaması	Ölüm, Yaralanma	1	0,5	40	20	16
T8	Araçların çarpışması ya da trafiğin yoğun olması	Yaralanma, kırık	3	6	15	270	7
T9	Statik elektrik	Yaralanma, yanık	0,5	6	40	120	9
T10	Kişisel koruyucu ekipmanlarının(donanımlarının) kullanılmaması	Meslek Hastalıkları, Yaralanmalar	3	6	40	720	3
T11	Termal koşulların elverişli olmaması	Solunum yolu ve cilt hastalıkları	1	6	15	90	11
T12	Çatıdan veya siloların üst kısımlarından malzeme düşmesi	Yaralanma, Ölüm	0,5	1	40	20	16
T13	Sıvı ve gaz hammaddeye maruziyet	Göz, deri ve solunum sisteminde tahriş, meslek hastalığı	3	10	15	450	6
T14	Toz hammaddeye maruziyet	Meslek hastalığı, solunum yolu hastalıkları, cilt hastalıkları	3	10	40	1200	2
T15	Hammadde basma hattına veya vanasına baş çarpma	Travma, kırık, kesik	3	6	3	54	13
T16	Kimyasalların karıştırılması için mikser kullanımı	Yaralanma, uzuv veya doku kaybı	3	10	7	210	8
T17	Mikser karıştırıcısının temizlenmesi işlemi	Yaralanma, uzuv veya doku kaybı	3	6	40	720	3
T18	Hammadde devrilmesi, dökülmesi veya döküntüye müdahale	Yaralanma, Sakatlanma	3	6	40	720	3

Tablo 6. İş güvenliği uzmanlarının f-SWARA yöntemine göre kriterlere verdiği sözel ifadeler

	Kriterler		
	Şiddet (S)	Frekans (F)	Olasılık (O)
KV1	-	Y	E
KV2	-	Y	BY
KV3	-	ÇY	D

Her bir karar vericinin kriterler için yapmış olduğu ağırlıklandırma hesaplamaları 4 numaralı eşitlik yardımıyla tamamlandıktan sonra hepsinin geometrik ortalaması alınarak kriterlerin nihai ağırlıkları belirlenmiştir. Tüm karar vericilerin kriter ağırlık değerleri ve geometrik ortalama ile bulunan nihai değerler Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Karar vericiler tarafından f-SWARA yöntemiyle ağırlıklandırılmış kriterler

Karar Vericiler	Ağırlıklandırılmış Kriterler		
	Olasılık	Frekans	Şiddet
KV1	0,234	0,267	0,500
KV2	0,167	0,291	0,544
KV3	0,197	0,269	0,536
Geometrik Ortalama	0,198	0,276	0,526

Kriterlerin ağırlıkları f-SWARA yöntemi yardımıyla hesaplandıktan sonra bu değerler f-VIKOR analizinde kullanılmıştır. f-VIKOR analizi için öncelikle karar vericiler, klasik Fine-Kinney yönteminde kullanılan

tehlikelerin *O*, *F* ve *Ş* kriterlerini Tablo 4’e göre sözel terimlerle ifade etmişlerdir. Bu ifadeler Tablo 8’de gösterilmiştir. Ayrıca bu ifadeler karşılık gelen bulanık sayılar kullanılarak bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matriste $BNP_i = \frac{l_i + 4 \times m_i + u_i}{6}$ eşitliği kullanılarak bütün kriterlerin en iyi bulanık olmayan performans değerleri hesaplanmış ve bu değerler Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 10’daki veriler ışığında bütün kriterlerin en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler kullanılarak bütün tehlikeler için S_j ve R_j değerleri 7 ve 8 numaralı denklemler yardımıyla belirlenmiştir. Burada f-SWARA yöntemi yardımıyla belirlenmiş olan kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Daha sonra 9 numaralı denklem yardımıyla her bir tehlike için Q_j değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan tüm bu değerler Tablo 10 ve Tablo 11’de gösterilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen Q_j değerlerinin en küçüğü en tehlikeli, en büyüğü ise en tehlikesiz durumu göstermektedir. Bu bağlamda tehlike öncelik sıralaması Q_j değerinin küçükten büyüğe doğru sıralanmasıyla belirlenir. Q_j değeri “0” olan T5 tüm “v” değerleri için öncelik sıralamasında 1. sıradadır. Aynı şekilde Q_j değeri “1” olan T15 ise tüm “v” değerleri için 18. sıradadır. Tüm tehlikeler ve tüm “v” değerleri için hesaplanan Q_j değerlerine ait grafik Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tüm v değerleri için hesaplanan Q_j değerlerine ait tehlike öncelik sıraları Tablo 12’de gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi Eşitlik 10’daki koşulu sadece $v=0$ ve $v=0,25$ değerleri için sağlanmıştır. Diğer “v” değerleri için bu şart sağlanamamaktadır. Dolayısıyla bu çalışma için v değeri “0” veya “0,25” olarak değerlendirilebilir. Ancak literatürde uyuşma değeri olarak kullanılan 0,5 değerine daha yakın olduğu için $v=0,25$ olarak seçilmiştir. Bu sebeple tehlike öncelik sıralamasında bu değer için hesaplanmış olan veriler kullanılmıştır. Şekil 3’te bulunan grafikte klasik Fine-Kinney ve f-SWARA&f-VIKOR yöntemleri için tehlike öncelik sıralaması karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 8. Tehlikelere/alternatiflere bağlı kriterlerin sözel terimlerle ifade edilmesi

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
O	O	O	O	BK	İ	O	O	Bİ	BK	Bİ	O	BK	Bİ	Bİ	Bİ	Bİ	Bİ	Bİ
F	Bİ	İ	İ	BK	İ	Bİ	K	İ	İ	İ	İ	BK	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	İ
Ş	O	O	Bİ	İ	İ	İ	İ	Bİ	İ	İ	Bİ	İ	Bİ	İ	BK	O	İ	İ

Tablo 9. Sözel terimlerle ifade edilen kriterlere ait nümerik değerler

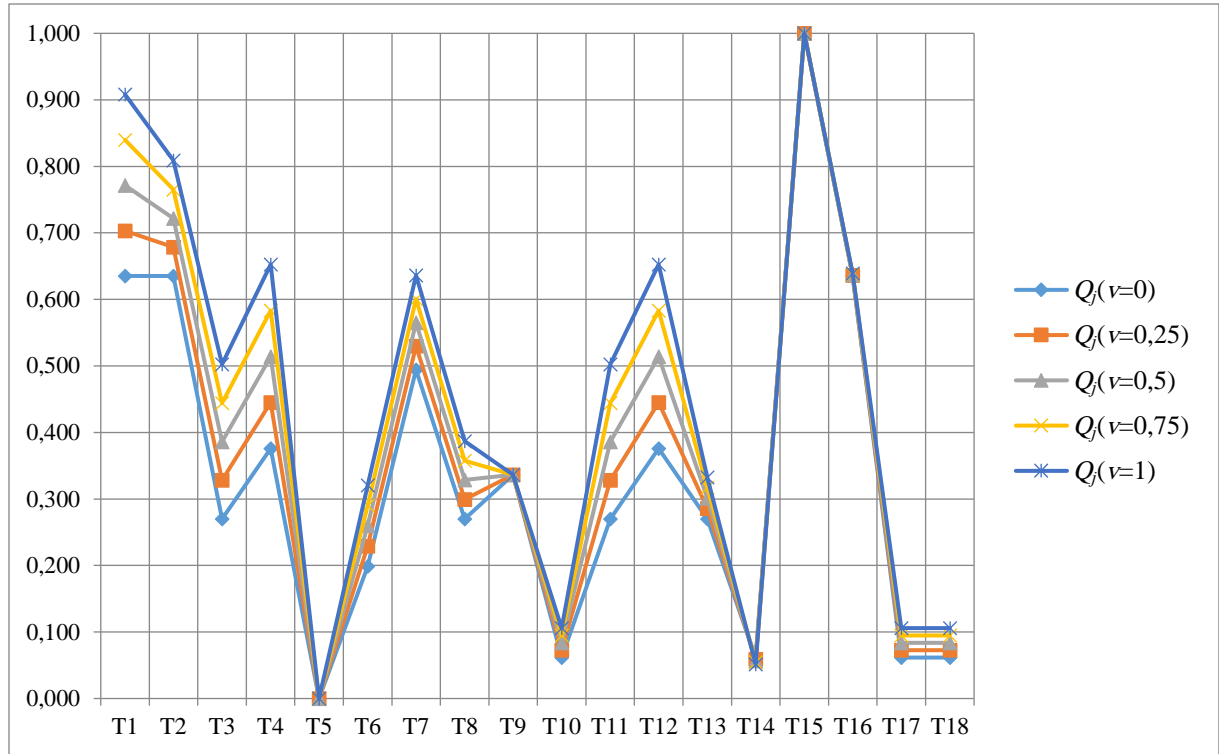
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
O	5.000	5.000	5.000	3.000	8.833	5.000	5.000	7.000	3.000
F	7.000	8.833	8.833	3.000	8.833	7.000	1.167	8.833	8.833
Ş	5.000	5.000	7.000	8.833	8.833	8.833	8.833	7.000	8.833
	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
O	7.000	5.000	3.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
F	8.833	8.833	3.000	9.833	9.833	8.833	9.833	8.833	8.833
Ş	8.833	7.000	8.833	7.000	8.833	3.000	5.000	8.833	8.833

Tablo 10. f-**VIKOR** yöntemiyle yapılan hesaplamalar ile elde edilen değerler

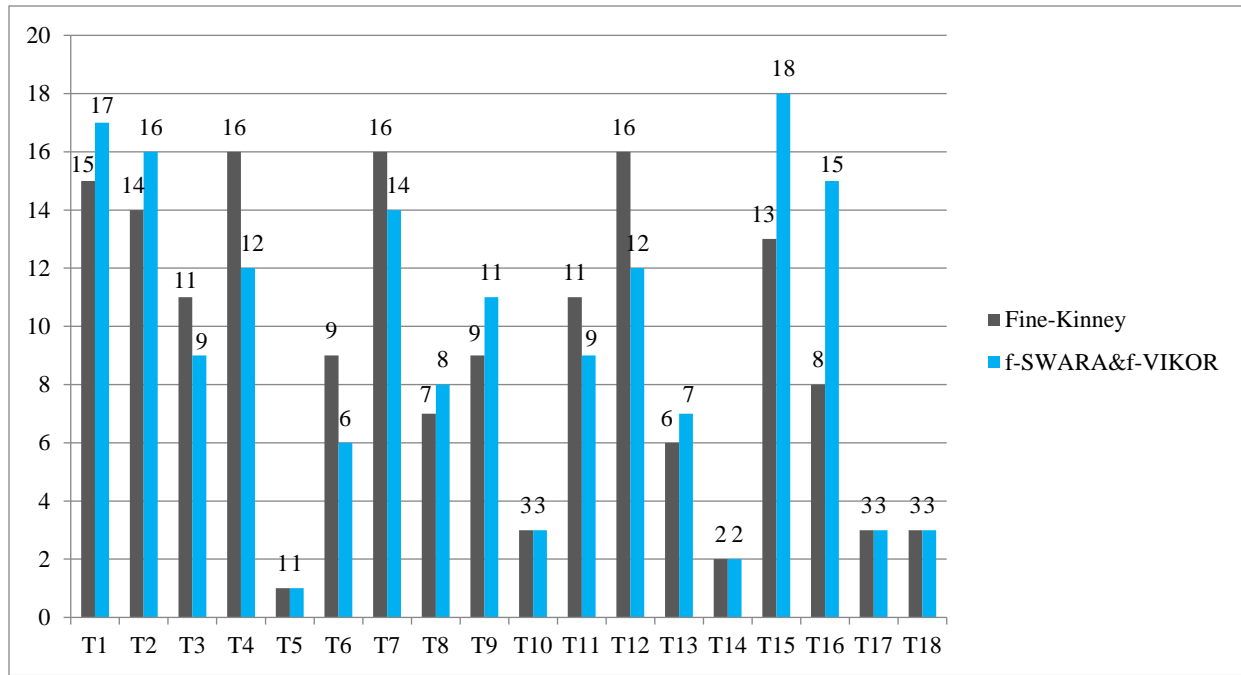
	w	f_i^+	f_i^-	S^*	S^-	R^*	R^-	v
Ş	0,5260	8,833	3,000	0,032	0,620	0,032	0,526	0
F	0,2760	9,833	1,167					0,25
O	0,1980	8,833	3,000					0,5
								0,75
								1,00

Tablo 11. Tehlikelere ait S_j , R_j , Q_j değerleri ve tehlikelerin öncelik sıralaması

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
S_j	0,566	0,508	0,327	0,416	0,032	0,220	0,406	0,259	0,230
R_j	0,346	0,346	0,165	0,218	0,032	0,130	0,276	0,165	0,198
Q_j (v = 0,00)	0,635	0,635	0,270	0,376	0,000	0,199	0,494	0,270	0,336
Q_j (v = 0,25)	0,703	0,678	0,328	0,445	0,000	0,229	0,530	0,299	0,336
Q_j (v = 0,50)	0,772	0,722	0,386	0,514	0,000	0,260	0,565	0,328	0,336
Q_j (v = 0,75)	0,840	0,765	0,444	0,583	0,000	0,290	0,601	0,358	0,337
Q_j (v = 1,00)	0,908	0,809	0,502	0,652	0,000	0,320	0,636	0,387	0,337
	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
S_j	0,094	0,327	0,416	0,228	0,062	0,620	0,408	0,094	0,094
R_j	0,062	0,165	0,218	0,165	0,062	0,526	0,346	0,062	0,062
Q_j (v = 0,00)	0,061	0,270	0,376	0,270	0,061	1,000	0,635	0,061	0,061
Q_j (v = 0,25)	0,073	0,328	0,445	0,286	0,059	1,000	0,636	0,073	0,073
Q_j (v = 0,50)	0,084	0,386	0,514	0,301	0,057	1,000	0,637	0,084	0,084
Q_j (v = 0,75)	0,095	0,444	0,583	0,317	0,054	1,000	0,638	0,095	0,095
Q_j (v = 1,00)	0,106	0,502	0,652	0,333	0,052	1,000	0,639	0,106	0,106

Şekil 2. Hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemi ile hesaplanan Q_j değerleriTablo 12. Tehlikelerin Q_j değerlerine göre öncelik sıralamaları

Tehlike Kodu	Tehlike Öncelik Sırası				
	$Q_j(v=0,00)$	$Q_j(v=0,25)$	$Q_j(v=0,50)$	$Q_j(v=0,75)$	$Q_j(v=1,00)$
T1	15	17	17	17	17
T2	15	16	16	16	16
T3	7	9	10	10	10
T4	12	12	12	12	14
T5	1	1	1	1	1
T6	6	6	6	6	6
T7	14	14	14	14	12
T8	7	8	8	9	9
T9	11	11	9	8	8
T10	2	3	3	3	3
T11	7	9	10	10	10
T12	12	12	12	12	14
T13	7	7	7	7	7
T14	2	2	2	2	2
T15	18	18	18	18	18
T16	15	15	15	15	13
T17	2	3	3	3	3
T18	2	3	3	3	3



Şekil 3. Hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemi ve klasik Fine-Kinney yöntemiyle belirlenen tehlike öncelik sıralarının karşılaştırılması

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Risk analizi yapılırken en önemli aşama risk skorunun belirlenmesidir. Elde edilen değerlere göre risklerin önceliklendirilmesi yapılacağı için yapılacak bir hata alınacak önlemlerin önceliğini de etkileyeceğinden bu durum işyerlerinde basit yaralanmadan ölümcül kazalara kadar istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Dolayısıyla uygulanacak olan risk analizinin doğruluğu, hassaslığı ve işyerine uygunluğu oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında kimya endüstrisinde yer alan bir işyeri için geleneksel Fine-Kinney yöntemiyle yapılmış bir risk analizi hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemi uygulanarak tekrarlanmış ve iki analizin karşılaştırılması yapılmıştır.

Geleneksel risk analiz yöntemlerinde her bir kritere nümerik değerler verilerek risk skoru elde edilmektedir. Yapılan bu uygulama ile tüm kriterlerin etki oranları eşit olarak varsayılmıştır. Oysaki her kriter aynı önem düzeyine sahip değildir. Bu nedenle çalışmamızda f-VIKOR yöntemiyle risk analizi yapılmadan önce f-SWARA yöntemi yardımıyla iş güvenliği uzmanı olan üç karar vericinin yardımıyla kriterlerin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Yapılan işlem sonucunda olasılık, frekans ve şiddet kriterlerinin ağırlıkları sırasıyla 0.198, 0.276 ve 0.526 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de kimya endüstrisinde yer alan önemli işletmelerden birisi için Fine-Kinney risk analizi yöntemi kullanılmıştır. Yapılmış olan bu analiz f-SWARA&f-VIKOR yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Analiz için 18 adet tehlike alternatif olarak kullanılmıştır. Tespit

edilmiş olan bu tehlikeler için karar matrisi oluşturulmuştur. f-SWARA yöntemi yardımıyla ağırlıklandırılmış olan kriter değerleri kullanılarak bu matrisin normalizasyon işlemi yapılmıştır. Daha sonra f-VIKOR yönteminin ilgili hesaplamaları kullanılarak her bir alternatif için Q_j değerleri belirlenmiştir. f-VIKOR analizi alternatifleri sıralarken fayda odaklı sıralama yapmaktadır. Yani alternatifler için 0-1 aralığında belirlenen Q_j değerlerinden 1 değerine sahip olan alternatif en faydalıdır/risksizdir. Bu bağlamda çalışmamızda önerilen entegre yöntem yardımıyla her bir alternatif/tehlike için hesapladığımız risk skoruna karşılık gelen Q_j değeri ne kadar küçükse risk o kadar fazla demektir. Burada çeşitli “ v ” değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve $v=0,25$ değeri en uygun olarak tespit edilmiştir. Bu değer kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda en küçük Q_j değeri olan 0,000’a sahip olduğu için T5 en riskli duruma karşılık gelmektedir. Yine 1,000 değerine sahip olan T15 ise en risksiz durumdur.

Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda geleneksel Fine-Kinney yöntemiyle yapılmış tehlike sıralaması ile yeni bir yöntem olarak kullanılan hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemiyle yapılmış sıralama arasında farklılıklar oluşmuştur. Bunun temel nedeni hassasiyet eksikliği ve belirsizlik durumları taşıyan geleneksel yöntemde kriterlerin herhangi bir ağırlık değerinin olmamasıdır. Çalışmada kullanılan hibrit yöntemle kriterler ağırlıklandırılmış ve çok kriterli karar verme yöntemleri bulanık mantık tabanlı olarak kullanılarak hassasiyet artırılmış ve belirsizlikler ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Bu sebeple iki yöntem arasında tehlike öncelik sıralamasında farklılıklar görülmüştür.

İşyerlerinde risklerin tespiti için yapılan işlemler bir karar verme süreci gerektirmektedir. Bu sebeple risk tespiti için uygulanmış olduğumuz ÇKKV yöntemlerinin değerlendirilmesi çok daha uygun olacaktır. Ancak geleneksel yöntemlerde nümerik değerler kullanılarak yapılan hesaplamalarda olumsuz ve dezavantajlı durumlar bulunmaktadır. Bu olumsuz durumları bertaraf etmek için bulanık mantık tabanlı ÇKKV yöntemleri kullanılarak nümerik değerler yerine insan doğasına daha uygun olan sözel terimler kullanılmıştır. Böylece klasik yöntemlerde oluşan belirsizliklerin ve hassasiyet eksikliğinin ortadan kaldırılması için önemli bir uygulama yapılmıştır.

Sonuç olarak hangi yöntem kullanılarak risk analizi yapılırsa yapılsın belirlenen önlemleri uygulayacak olan yine insandır. Bu sebeple işyerlerinde güvenlik kültürü anlayışının en üst birimdeki yöneticiden en alt birimdeki çalışana kadar sıkı bir şekilde uygulanması ve çalışanların bu bağlamdaki kurallara uygun davranışlar sergilemeleri çok önemlidir. Hiçbir şeyin insan hayatından daha değerli olmadığı düşünülerek işyerlerinde alınacak önlemler gereksiz ve fazla maliyet olarak görülmemelidir.

KAYNAKÇA

- [1] Kokangül A, Polat U, ve Dağsuyu C. 2017. A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Safety Science*. 91:24–32. doi:10.1016/j.ssci.2016.07.015
- [2] Hacibektaşoğlu SE, 2018. İnşaat sektöründe yaşanan iş kazalarının analizi ve bu kazalara neden olan etkenlerin incelenmesi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 2(3):159-177. doi: 10.30692/sisad.452112
- [3] Yağımlı M ve Hacibektaşoğlu SE. 2018. Türkiye’de inşaat sektöründe yaşanan iş kazaları ve ölümlü iş kazası sayılarının tahmini. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi. 9(22):142-156.
- [4] Gul M ve Celik E. 2018. Fuzzy rule-based Fine–Kinney risk assessment approach for rail transportation systems. *Human and Ecological Risk Assessment*. 24(7):1786-1812. doi:10.1080/10807039,2017,1422975
- [5] Hacibektaşoğlu SE, Mertoglu B ve Tozan H. 2021. Application of a novel hybrid f-SC risk analysis method in the paint industry. *Sustainability*. 13(24), 13605. <https://doi.org/10.3390/su132413605>
- [6] Ahmed MT, Omotunde H. 2012. Theories and strategies of good decision making. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 1:51–54.
- [7] Sirakaya E, Woodside AG. 2005. Building and testing theories of decision making by travellers. *Tourism management*. 26:815–832.
- [8] Gigerenzer G, Gaissmaier W. 2015. Decision making: Nonrational theories. In: *International encyclopedia of the social & behavioral sciences*. Elsevier. 911–916. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.26017-0>
- [9] Kou G, Peng Y, Wang G. 2014. Evaluation of clustering algorithms for financial risk analysis using MCDM methods. *Information Sciences*. 275:1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.02.137>
- [10] Kinney GF ve Wiruth AD. 1976. Practical risk analysis for safety management [Final Report].
- [11] Oturakçı M ve Dağsuyu C. 2017. Fuzzy Fine-Kinney approach in risk assessment and an application. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*. 1(1):17-25.
- [12] Aker A ve Özçelik TÖ. 2020. Risk assessment with 5x5 Matrix and Fine-Kinney method in metal industry. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*. 4(1):65-75.
- [13] Keršulienė V, Zavadskas EK ve Turskis Z. 2010. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*. 11(2): 243-258.
- [14] Keršulienė V ve Turskis Z. 2011. Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection. *Technological and Economic Development of Economy*. 17(4): 645–666.
- [15] Mishra AR, Rani P, Pandey K, Mardani A, Streimikis J, Streimikiene D ve Alrasheedi M. 2020. Novel multi-criteria intuitionistic fuzzy SWARA–COPRAS approach for sustainability evaluation of the bioenergy production process. *Sustainability*. 12:4155. doi:10.3390/su12104155
- [16] Yucenur GN, Caylak S, Gönül G ve Postalcioglu M. 2020. An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility. *Renewable Energy*. 145:2587-2597. doi:10.1016/j.renene.2019.08.011
- [17] Zavadskas EK, Hasan Aghdaie M, Hashemkhani Zolfani S. 2013. Decision making in machine tool selection: An integrated approach with SWARA and COPRAS-G methods. *Engineering Economics*. 24:5–17. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.24.1.2822>
- [18] Hashemkhani Zolfani S, Yazdani M, Zavadskas EK. 2018. An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA)

- method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*. 22:7399–7405. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3092-2>
- [19] Kouchaksaraei RH, Zolfani SH, Golabchi M. 2015. Glasshouse locating based on SWARA-COPRAS approach. *International Journal of Strategic Property Management*. 19:111–122. <https://doi.org/10.3846/1648715X.2015.1004565>
- [20] Alimardani M, Hashemkhani Zolfani S, Aghdaie MH, Tamošaitienė J (2013) A novel hybrid SWARA and VIKOR methodology for supplier selection in an agile environment. *Technological and economic development of economy* 19:533–548
- [21] Opricovic S, Tzeng G-H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 156:445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- [22] Gul M, Ak MF, Guneri AF. 2019. Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry. *Journal of Safety Research*. 69:135–153
- [23] Opricovic S ve Tzeng GH. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 156(2):445-455.
- [24] Chen LY ve Wang T. 2009. Optimizing Partners choice in IS/IT outsourcing process: The strategic decision of fuzzy VIKOR. *International Journal of Production Economics*. 120:233-242.
- [25] Opricovic S. 2011. Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Syst, Appl*. 38(10):12983–12990.
- [26] Tzeng GH ve Huang JJ. 2011. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Taylor and Francis Group. New York, NY.
- [27] Kim Y ve Chung ES. 2013. Fuzzy VIKOR approach for assessing the vulnerability of the water supply to climate change and variability in South Korea. *Applied Mathematical Modelling*. 37, 9419–9430.
- [28] Wei J ve Lin X. 2008. The Multiple Attribute Decision-Making VIKOR Method and Its Application, In *Wireless Communications. WiCOM'08, 4th International Conference. Networking and Mobile Computing*. 1-4.
- [29] Gul M, Guven B ve Guneri AF. 2018. A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 53:3-16. [doi:10.1016/j.jlp.2017.08.014](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.08.014)

Demand Forecasting with Integration of Time Series and Regression Models in Pharmaceutical Industry

İlaç Sektöründe Zaman Serisi ve Regresyon Birleşik Modeller ile Talep Tahmini Uygulaması

Salih İMECE¹ , Ömer Faruk BEYCA^{1*} 

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34367, İstanbul, Türkiye*

Abstract

Accurate demand forecasting is crucially important to reduce inventory and backlogging cost. In this study, we analyze how promos, holiday statements, price changes, stock availability and date-time features (weekdays, months etc.) affect the demand by using several forecasting methods. Data sets were collected for the products of the global pharmaceutical company providing services in Turkey. Actual daily sales data for 2016, 2017 and 2018 were used in the construction of this data set. In order to predict the next periods demand, we used four different models which are Holt Winters, Ridge Regression, Random Forest and Xgboost. We also ensemble those models to improve forecasting accuracy. Next, by weighting inversely proportional to the error rates of the models, binary, triple and quadruple combinations of the single models were compared with themselves and the single models. Our numerical results show that the lowest forecasting error rate was obtained in ensemble models. Particularly, the lowest error rate in individual models was obtained in Random Forest with 15.7% RMSPE (Root Mean Square Percentage Error) value, and the lowest error rate was obtained with 10.7% RMSPE value in Holt Winters & Xgboost models combination. Results show that ensemble of several models can increase the forecasting accuracy.

Keywords: demand forecasting, production planning, ensemble models, inventory

Öz

Doğru talep tahmini, karşılanmayan talep ve stok miktarını azaltmak için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, yapılan promosyonların, yıl içi tatil günlerinin, ürünün fiyatında olan değişikliklerin, ürünün stokta bulunup bulunmamasının ve bazı tarih özelliklerinin (haftanın günleri, aylar, yıllar vb.) birden çok tahmin modelinde kullanılarak talebi nasıl etkilediğinin analiz edilmesini amaçlamaktadır. Çalışma için, Türkiye'de uzun yıllar hizmet veren bir global ilaç şirketine ait bir ürün incelenmiştir. Veri seti için 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait günlük satış verileri kullanılmıştır. Gelecek dönemlerin talebini tahmin etmek için; Holt Winters, Ridge Regression, Rastgele Orman ve Xgboost olmak üzere dört ayrı model kullanılmıştır. Ayrıca tahmin doğruluğunu arttırmak için dört modelin birbiriyle olan kombinasyonlarından oluşan modeller de kullanılmıştır. Sonrasında, modellerin hata oranları ile ters orantılı şekilde ağırlıklandırma yapılarak, tekli modellerin ikili, üçlü ve dördü kombinasyonları elde edilmiş ve hata oranları hem kendi aralarında hem de tekli modellerle kıyaslanmıştır. Sonuçlar, en düşük tahminleme hatalarının birleştirilmiş modellerden elde edildiğini göstermiştir. Oluşturulan tüm modeller hata oranı bakımından kıyaslandığında, hata oranı en düşük modelimiz %10,7 RMSPE (Kök ortalama Kare Yüzde Hata) değeri ile Holt Winters ve Xgboost modellerinin kombinasyonlarından oluşan kombinasyon olmuştur. Sonuçlar, birden çok modelin birlikte kullanılarak talep tahmininin doğruluk oranının artırılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: talep tahmini, üretim planlama, birleştirilmiş modeller, stok

I. INTRODUCTION

Production planning is the one of the critical process of pharmaceutical, which has a vital impact in competitive environment. Forecasting methods are widely used for decision making when uncertainty is present. Forecasting methods are utilized in production planning to support decision makers (Goodwin, 2005; Moskowitz, 1972). Moreover, demand forecasting also affects finance, controlling sales, price policy etc. (Cook, 2016).

Although pharmaceutical companies have fairly data, they do not effectively utilize these data to assist decision makers. For example, data mining can be used to analyze datasets in order to discover hidden relations, and find models and trends (Hand David & Heikki, 2001). Another important utilization of recorded data is demand forecasting. Demand forecasting in the pharmaceutical industry is a complex task in terms of different effective elements (Smits & Boon, 2008). There are many elements that might affect consumption quantity of an exclusive kind of drugs such as pharmacologic class and practices of different kinds of medicine, seasonal effects, geographic variety of the patients, patients' characteristics regarding on the cultural background, new launch, and drug prices.

The predictive modelling provides an estimation about unknown data by using historical data. Some of such models are time series analysis, regression, gradient boosting algorithms, neural networks etc. Forecasting is the steps of investigating the relationship of current and past observations and prediction of future values. The regression is the learning function from data to predict future values. In time series analysis, time-dependent changing of data is examined. In time series analysis, many statistical methods are used to analyze the data like Holt Winters, ARIMA etc. (Padhy et al., 2012).

Demand forecasting is a substantial and complex sub-process of supply chain management. Demand forecasting can be defined as the process of developing models and calculating the related quantities in a timely manner to help accurate planning of all processes in the supply chain. For example, by precise forecasting of demand, unnecessary logistics costs, storage costs and supply of unnecessary raw materials can be reduced.

The objective of this research is to introduce new variables and develop models to predict the demand amounts of the products from the wholesalers for a pharmaceutical company. The actual sales of a pharmaceutical company for 4 years period was considered in order to forecast demands. A nutritional product that has dynamic demand activities due to promotions and seasonal effects is chosen. Figure 1 shows the flow for production from company to the patient.

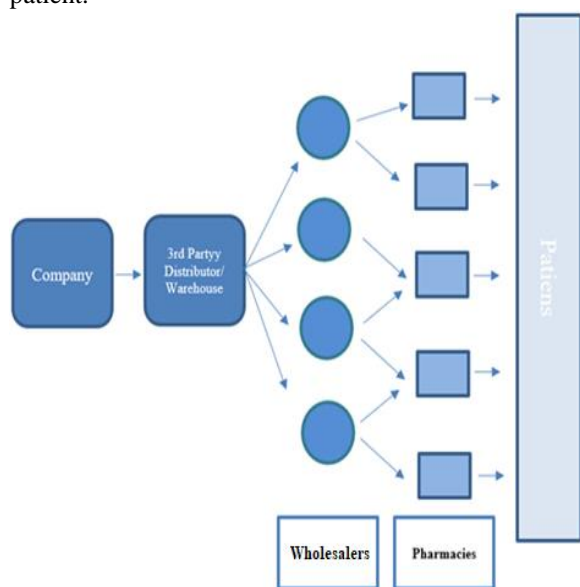


Figure 1. Supply Flow For the Company

The contributions of this study are three-fold.

- New variables are introduced that has not been used in the literature before for pharmaceutical industry such as price change and stock availability.

- Various machine-learning models are employed to time series prediction.
- Ensemble methods that combine multiple models are proposed.

This paper is organized as follows. In second section, the literature review is presented. In the Section 3 and Section 4, proposed models are presented. Section 5 discuss the numerical results. Finally, Section 6 highlights the main conclusion and future work.

II. LITERATURE REVIEW

Demand forecasting for wholesalers requires the prediction of how many products any wholesaler will sell in the planning periods. In the literature, prediction methods are mainly in two groups (single-model and hybrid models). Methods consisting of a single model can be divided into statistical models and machine learning models.

Merkuryeva et al. (2019) suggested different demand forecasting cases using simple moving average, multiple linear regression, and symbolic regression for a pharmaceutical company. They used some features “distributor price-list; the discounted selling price of the product” for regression models. Micajkova et al. (2018) studied about annual sales of a pharmaceutical company from 2001 to 2015 in Macedonia. They proposed models of moving average, exponential smoothing and regression analysis to predict sales of 2016. Anusha et al. (2014) introduced six month moving average, simple exponential smoothing and Winters’ exponential smoothing models to predict demand of two product family of a pharmaceutical company. Box-Jenkins methodology is another commonly used statistical method. For example, time series analysis and prediction were conducted using Box-Jenkins seasonal ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) models (Liu et al., 2001).

Artificial intelligence algorithms gain popularity in pharmaceutical demand forecasting due to the complexity of supply chain problems. Ali et al. (2009) stated that statistical methods are successful for non-promotion periods but insufficient in case of promotion. In the study, they showed that regression trees are more successful than traditional statistical methods in the case of promotion. Hasin et al. (2011) tested the performance of traditional Holt-Winters model and artificial neural networks on the dataset of a supermarket in Bangladesh. They showed that, based on MAPE (Mean Absolute Percentage Error) metric, artificial neural networks are superior to traditional statistical models. Ghousi et al. (2012) employed Neural Networks and Decision Tree algorithms to forecast the quantity of various drugs monthly consumptions. They stated that both Decision Tree and Neural Networks are stable models in this type of cases with several important factors utilized, while

Decision Tree would perform a little better than Neural Networks in most of these cases.

Some recent studies show that, different models are used together to increase model's estimation performance. Pavlyshenko (2019) indicated that sales estimation is a regression problem rather than a time series problem. They showed that regression models can usually provide better outcomes compared to time series models. They ensembled the individual models for better accuracy. Tugay and Ögüdücü (2020) studied a sales forecasting model on an e-commerce web site in Turkey. They proposed a stacked generalization method with sub-level regressors. They also tested performance of individual methods separately, and then compared with the general method. Scenarios showed that stacking method estimates sales at least as good as individual methods with less training data (only %20 of the dataset). Moreover, stacked generalization was more successful when more data was used. Ganesh et al. (2019) studied a building forecasting model of the Air Quality Index. The accuracy of estimation has been increased by the stacked ensemble of individual predictors. Their results implied that the ensembled methods provide promising results for forecasting the Air Quality Index compared to individual neural network predictors and regression models. Table 1 summarizes the related literature review.

III. EXPERIMENT DESIGN AND RESULTS

In this section, we first describe the data sets attributes. Then, we present proposed models. Finally, we use the described data sets to asses performance of the proposed models and the results of the proposed models are discussed.

3.1. Dataset

In this study, the data set is obtained from actual sales of a global pharmaceutical company in Turkey. The data set consists of actual daily sales for 2016, 2017 and 2018. Selected features for sales forecasting are promotions, holiday statement, price changes, stock availability, days of the week and month, quarter, year are obtained from the datetime features.

The monthly sales distribution of the studied product is shown in the Figure 2. Monthly sales numbers were not given in the Figure 2 due to data privacy.



Figure 2. Monthly sales of the product

The features used between 2016 and 2018 is listed in the table below.

Table 2. Features used in the model

No	Variables	Measurement Scale	Possible Values
1	Promo	Nominal	0 (No Promotion), 1 (Promo 1), 2 (Promo 2), 3 (Promo 3)
2	Holiday Statement	Nominal	0(No), 1(Yes)
3	Price Changes	Nominal	1(Before 1 Month), 2(After 1 Month), 0 (No Changing)
4	Stock Availability	Nominal	0(Yes), 1(No)
5	Day of Week	Nominal	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
6	Date	Interval	1/1/2016 to 12/31/2018
7	Sales	Ratio	0 to 23.235

3.1.1. Promo

The company conducts some activities to increase sales. The correlation values of different promotion types with sales is showed in Table 3. Since the activities are related to the daily sales of the products, it is considered appropriate to add them to the model as a feature.

Table 3. Correlation matrix of promotion types

Promotion Types	Values
Promo 1	0.53
Promo 2	0.19
Promo 3	0.06
No Promo	-0.23

3.1.2. Holiday Statement

Sales to the pharmacies from the wholesalers on official holidays in Turkey are seriously affected. The correlation matrix of these days with sales is showed in Table 4.

Table 4. Correlation matrix according to the holiday statement

Holiday Statement	Values
Yes	-0.33
No	0.24

Table 1. Studies in the literature related to Demand Forecasting.

Author(s)	Feature(s)	Methodological Approaches	Industries	Data Type & Size
(Merkuryeva et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Distributor price-list; The discounted selling price of the product; • A week number of sales in a month; • Weekly average currency rate. 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiple Linear Regression, • Symbolic Regression, • Simple Moving Average 	Pharmaceutical	Historical Weekly Sales Data (41 Data points)
(Micajkova et al., 2018)	-	<ul style="list-style-type: none"> • Moving Average, • Exponential Smoothing, • Simple Regression 	Pharmaceutical	Annual sales of the company from 2001 to 2015.
(Lakshmi Anusha et al., 2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Number of items remaining in inventory 	<ul style="list-style-type: none"> • Moving Average, • Exponential Smoothing, • Winter’s Exp. Smoothing 	Pharmaceutical	Daily Sales Data (From December 2010 to November 2013)
(Liu et al., 2001)	<ul style="list-style-type: none"> • Identifying special events includes that holidays or festivals, sports activities, other scheduled local events, as different outlier groups 	<ul style="list-style-type: none"> • Seasonal ARIMA 	Fast Food Restaurants	Daily sales data from April 7 1997 to May 18 1998 (407 observations)
(Ali et al., 2009)	<ul style="list-style-type: none"> • Promotions (TV, Radio), • Price and Discount for the SKU-store combination, • SKU and subcategory dummies, • The week-number and the actual unit sales for the current and last four weeks. 	<ul style="list-style-type: none"> • Stepwise Linear Regression, • Support Vector Regression, • Regression Tree 	Grocery Retailing	76 weeks period (first 51 weeks for training data, after 25 weeks for testing data)
(Ghousi et al., 2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Year, Season, Month, • Disease, • Price, • Population, • Educated Women/Men, • Marriage/Divorce ratio 	<ul style="list-style-type: none"> • Regression, • Neural Networks, • Decision Trees 	Pharmaceutical	3 year dataset of a drug distribution center (407.000 records)

(Ferreira et al., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Price, • Events start date/length, • Initial inventories, • Product's brand, size, color, hierarchy 	<ul style="list-style-type: none"> • Regression Trees, • Principal Component • Regression, • Least Squares Regression 	Online Retailer	Sales transaction data from the beginning of 2011 through mid-2013
(Hasin et al., 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Promotions, • Holiday statement, • Festival Periods, • Availability of items on the shelf, • Consumption rate, • Price range of the item. 	<ul style="list-style-type: none"> • Holt Winters, • Neural Networks 	Retailer	Including five years daily sales data
(Martin & others, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Household Real Disposable Income (<i>HRDI</i>), • Total Headline Consumer Price Index (<i>CPI</i>), • Gold price in US Dollars (<i>gold</i>), • Oil price in US Dollars (<i>oil</i>) etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elastic-net Regression, Random Forests, Support Vector Machines, Recurrent neural networks. 	Economics	Quarterly South African GDP dating from Q2 1992 to Q4 2016.
(Pavlyshenko, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Promotions, • Holiday statement, • Store types, • Distance from store to competitor's store 	<ul style="list-style-type: none"> • ARIMA, • Lasso, • Random Forest, • Neural Networks, • Stacking (Ensemble) 	Retailer (Supermarket)	Daily sales data each store & product (2 years)
(Tugay & Oguducu, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Year, Month, Week, Day and Weekday information. • Popularity of the product/good. 	<ul style="list-style-type: none"> • Linear Regression, • Decision Tree, • Random Forest, • Gradient Boosting, • Stacking (Ensemble) 	E-commerce Web Site	Weekly sales data (Containing 1925 instances)
(Ganesh et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • NO₂, CO, O₃, PM_{2.5}, SO₂ and PM₁₀ 	<ul style="list-style-type: none"> • Conjugate Gradient descent, • Neural Networks, • Support Vector Regression, • Stacking (Ensemble) 	Air Quality	Data containing 2000 samples (1500 /500 train & test)

3.1.3. Price Changes

We observed that sales increased in the month prior to price increase for a product due to tendency of buying more products at a low price. Consequently, the month after the price increase, sales are low due to the purchase of large quantities of products in previous month. This feature is also added to the dataset because it affects sales.

3.1.4. Stock Availability

Even if there is a sales demand, the demand is not met due to lack of inventory. Although this is rarely the case in this product, it is included in the data set as a feature which is a binary variable.

3.1.5. Day of Week

Depending on the day of the week, sales from wholesalers to pharmacies are varying. Sales increase at the beginning of the week, and significantly decrease at the end of the week. Details are provided in the correlation matrix in Table 5.

Table 5. Correlation matrix of weekdays

Weekdays	Values
Weekday 1	0.42
Weekday 2	0.02
Weekday 3	0.10
Weekday 4	-0.06
Weekday 5	-0.01
Weekday 6	-0.17
Weekday 7	-0.28

3.1.6. Date

For the tree based and regression models; month, quarter, year features were obtained from Date feature and added to dataset. The addition of these features is important in sales forecasting, as well as trying to reflect the characteristics of time series data to regression and decision tree models. The correlation table between the months of the year and sales can be seen in Table 6.

Table 6. Correlation matrix of months

Months	Values
Month 1	-0.12
Month 2	-0.18
Month 3	0.54
Month 4	0.08
Month 5	-0.06
Month 6	-0.06
Month 7	-0.33
Month 8	-0.11
Month 9	0.31
Month 10	-0.07
Month 11	-0.02
Month 12	0.02

3.1.7. Sales

It consists of daily sales from wholesalers to pharmacies. Due to returns, days of the sales that below zero were ignored. In order to reduce the effect of outlier data, the logarithmic transformation was used in the models except Holt Winters.

3.2. Models

We utilize Holt Winters, Ridge Regression, Random Forest and Xgboost methods for sales forecasting. In Holt Winters model, we only use historical sales data. In remaining three models we implement the whole data discussed in Section 4.1. We use 70% of data for training and 30% for testing. In experimental design, we first test individual models to assess their performances. The error rates of the applied methods were calculated by RMSPE.

3.3. Results

The RMSPE values of single models are given in Table 7.

Table 7. RMSPE values for each models

Models	RMSPE
Holt Winters	31.6%
Ridge Regression	25.8%
Random Forest	15.7%
Xgboost	17.0%

We observed that the lowest RMSPE values achieved by Random Forest model followed by Xgboost, Ridge Regression, and Holt Winters respectively.

We next construct ensemble models from these four algorithms. Weighted average of the model results is used for ensemble models. Weights of each model are inversely proportional to the error rates of the models and calculated as follows:

$$w_i = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{e_i}}$$

where w_i and e_i is the weight and error rate of the i^{th} model respectively. Final prediction value is calculated as by taking weighted average of individual model predictions as follows:

$$\hat{y}_{final} = \sum_i w_i \hat{y}_i$$

where \hat{y}_{final} is the ensembled results and \hat{y}_i is the individual result of the model i .

In particular, dual combinations of singular models are formed and examined. The results for the dual combinations are illustrated in Table 8.

Table 8. RMSPE values for dual combinations of models

Models	RMSPE
Holt Winters & Ridge Regression	24.0%
Holt Winters & Random Forest	19.8%
Holt Winters & Xgboost	10.7%
Ridge & Random Forest	20.5%
Ridge Regression & Xgboost	15.2%
Random Forest & Xgboost	12.3%

RMSPE values given in Table 8 shows that the combinations Holt Winters & Xgboost algorithm achieves the best RMSPE value. Holt Winters & Xgboost algorithm is followed by Random Forest & Xgboost, Ridge Regression & Xgboost, Holt Winters & Random Forest, Ridge & Random Forest and Holt Winters & Ridge Regression respectively. We note that, single performances of the algorithms are not correlated with combined models' performances. Particularly, Random Forest and Xgboost are the best performing algorithms individually, but their combination is outperformed by Holt Winters & Xgboost. This result may arise since combined algorithms exploit different advantages of each algorithm.

We also inspect triple combinations of four selected algorithms. The error rates obtained from the models created by these combinations are shown in Table 9. We observe that the combination of Holt Winters, Random Forest and Xgboost has the lowest RMSPE value.

Table 9. RMSPE values for triple combinations of models

Models	RMSPE
Holt Winters & Ridge Regression & Random Forest	20.1%
Holt Winters & Ridge Regression & Xgboost	13.7%
Holt Winters & Random Forest & Xgboost	11.2%
Ridge Regression & Random Forest & Xgboost	13.8%

Finally, we create a model by using all four algorithms used in this study. RMSPE value of this model is given as seen in Table 10.

Table 10. RMSPE values for the combination that include all individual models

Models	RMSPE
Holt Winters & Ridge Regression & Random Forest & Xgboost	13.1%

We also present the best RMSPE values for each of four cases in Table 11. Holt Winters & Xgboost achieves the lowest RMSPE value among all algorithms.

Table 11. The best RMSPE values for each of four cases

Models	RMSPE
Random Forest	15.7%
Holt Winters & Xgboost	10.7%
Holt Winters & Random Forest & Xgboost	11.2%
Holt Winters & Ridge Regression & Random Forest & Xgboost	13.1%

IV. CONCLUSIONS AND FUTURE DIRECTIONS

We develop models demand prediction for a pharmaceutical company. We introduced new variables to be considered for pharmaceutical industry such as price change and stock availability. Four different models are considered for demand forecasting. We also construct ensemble models of the studied models by weighting the models error rates. Our results show that ensemble models' performance is superior to single models. We note that, individual performance of the algorithms is not correlated with combined models' performance. This result may arise because combined algorithms exploit different advantages of each algorithm. While regression algorithms can learn the relationship of the exogenous inputs to output Holt Winters method may capture the temporal relationship of the time series better than regression models. This study can guide both the academicians and practitioners working in the pharmaceutical industry for demand forecasting.

This study has a few limitations that may provide an opportunity for future research. First, in this study we only use the data pharmaceutical industry in Turkey. Demand of pharmaceutical products may vary for different countries. Second, the study is conducted for a single product. An improvement can be made by including other products. Future studies may include grouping (sales volume, target audience, sales behavior, etc.) by using various data mining methods and including these groups in the forecasting model. In addition, various data mining studies can be carried out by considering the market shares and profitability in the region in the classification of products. As a result of these studies, different forecasting models can be included in the model communities and tests can be performed on how the performance will change.

REFERENCES

- [1] Al-Hafid, M. S., & Hussein Al-maamary, G. (2012). Short term electrical load forecasting using holt-winters method. *Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)*, 20(6), 15–22.
- [2] Al-Hassan, Y. M. M., & Al-Kassab, M. M. (2000). *A comparison between ridge and principal components regression methods using simulation technique*. Al Al-Bayt University.
- [3] Ali, Ö. G., Sayin, S., Van Woensel, T., & Fransoo, J. (2009). SKU demand forecasting in the presence of promotions. *Expert Systems with Applications*, 36(10), 12340–12348.
- [4] Biau, G. (2012). Analysis of a random forests model. *The Journal of Machine Learning Research*, 13(1), 1063–1095.
- [5] Boulesteix, A.-L., Janitza, S., Kruppa, J., & König, I. R. (2012). Overview of random forest methodology and practical guidance with emphasis on computational biology and bioinformatics. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(6), 493–507.
- [6] Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
- [7] Chen, C., Liaw, A., Breiman, L., & others. (2004). Using random forest to learn imbalanced data. *University of California, Berkeley*, 110(1–12), 24.
- [8] Chen, T. (2014). Introduction to boosted trees. *University of Washington Computer Science*, 22(115), 14–40.
- [9] Cook, A. G. (2016). *Forecasting for the pharmaceutical industry: models for new product and in-market forecasting and how to use them*. Gower.
- [10] Ferreira, K. J., Lee, B. H. A., & Simchi-Levi, D. (2016). Analytics for an online retailer: Demand forecasting and price optimization. *Manufacturing & Service Operations Management*, 18(1), 69–88.
- [11] Ganesh, S. S., Arulmozhivarman, P., & Tataavarti, R. (2019). Forecasting air quality index using an ensemble of artificial neural networks and regression models. *Journal of Intelligent Systems*, 28(5), 893–903.
- [12] Ghousi, R., Mehrani, S., Momeni, M., & Anjomshoaa, S. (2012). Application of data mining techniques in drug consumption forecasting to help pharmaceutical industry production planning. *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 3–6.
- [13] Goodwin, P. (2005). Providing support for decisions based on time series information under conditions of asymmetric loss. *European Journal of Operational Research*, 163(2), 388–402. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.10.039>
- [14] Hand David, J., & Heikki, M. (2001). *Principles of data mining (adaptive computation and machine learning)*. Bradford Books.
- [15] Hasin, M. A. A., Ghosh, S., & Shareef, M. A. (2011). An ANN approach to demand forecasting in retail trade in Bangladesh. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 2(2), 154.
- [16] Karadavut, U., Aşır, G., Tozluca, A., Kınacı, İ., Aksoyak, Ş., Palta, Ç. and Pekgör, A. (2005). Nohut Cicer arietinum L. Bitkisinde Verime Etki Eden Bazı Karakterlerin Alternatif Regresyon Yöntemleriyle Karşılaştırılması. *Journal of Agricultural Sciences*, 11(03), 328–333.
- [17] Lakshmi Anusha, S., Alok, S., & Shaik, A. (2014). Demand Forecasting for the Indian Pharmaceutical Retail: A Case Study. *Journal of Supply Chain Management Systems*, 3(2).
- [18] Liu, L.-M., Bhattacharyya, S., Sclove, S. L., Chen, R., & Lattyak, W. J. (2001). Data mining on time series: an illustration using fast-food restaurant franchise data. *Computational Statistics & Data Analysis*, 37(4), 455–476.
- [19] Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (2008). *Forecasting methods and applications*. John Wiley & sons.
- [20] Martin, L.-C., & others. (2019). *Machine learning vs. traditional forecasting methods An application to South African GDP*.
- [21] Merkuryeva, G., Valberga, A., & Smirnov, A. (2019). Demand forecasting in pharmaceutical supply chains: A case study. *Procedia Computer Science*, 149, 3–10.
- [22] Micajkova, V., Georgieva Svrtinov, V., Petkovski, V., & Esmerova, E. (2018). *Selecting appropriate forecast method on the basis of forecast accuracy-pharmaceutical company case study*.
- [23] Moskowitz, H. (1972). The Value of Information in Aggregate Production Planning—A Behavioral Experiment. *A I I E Transactions*, 4(4), 290–297. <https://doi.org/10.1080/05695557208974865>
- [24] Padhy, N., Mishra, D., Panigrahi, R., & others. (2012). The survey of data mining applications and feature scope. *ArXiv Preprint ArXiv:1211.5723*.
- [25] Pavlyshenko, B. M. (2019). Machine-learning models for sales time series forecasting. *Data*, 4(1), 15.
- [26] Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the

- effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93–104.
- [27] Smits, R. E. H. M., & Boon, W. P. C. (2008). The role of users in innovation in the pharmaceutical industry. *Drug Discovery Today*, 13(7–8), 353–359.
- [28] Tosun, T. (2006). *Veri madenciliği teknikleriyle kredi kartlarında müşteri kaybetme analizi* Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29] Tugay, R., & Oguducu, S. G. (2020). *Demand Prediction Using Machine Learning Methods and Stacked Generalization*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2009.09756>
- [30] Yıldırım, N. (2010). En küçük kareler, Ridge regresyon ve Robust regresyon yöntemlerinde analiz sonuçlarına aykırı değerlerin etkilerinin belirlenmesi.. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tez, Adana*.

APPENDIX

Holt Winters Method

Holt winters method can directly analyze the seasonal effect in the data. It is one of the exponential correction methods. The formulation of the method consists of three separate equations; trend, level and seasonality. The seasonal equation must be either additive or multiplicative. In the planned analysis, it is recommended to use the Multiplicative-Seasonal method if the seasonal effect shows a steady increase or decrease with the trend, and additive seasonal method if the seasonality effect shows an increase or decrease with an irregular tendency (Al-Hafid & Hussein Al-maamary, 2012).

Multiplicative Seasonal Holt Winters Method

The equations of the multiplicative-seasonal Holt Winters method are as follows:

$$\text{Level: } L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (1)$$

$$\text{Trend: } b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2)$$

$$\text{Seasonality: } S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (3)$$

$$\text{Prediction: } F_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \quad (4)$$

Where α, β, γ are order parameters, t is time period, y_t is observation at time t , s is seasonal length, L_t is level component at time t , b_t is trend component at time t , S_t is seasonal component at time t and F_{t+m} is forecast value in m period.

Optimum α, β, γ parameters are found as 0.32, 0.11, 0.62 respectively.

Additive-Seasonal Holt Winters Method

The seasonal component of the Holt Winters method rarely can be additive. The equations for the additive-seasonal Holt Winters method are as follows:

$$\text{Level: } L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (5)$$

$$\text{Trend: } b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (6)$$

$$\text{Seasonality: } S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (7)$$

$$\text{Prediction: } F_{t+m} = (L_t + b_t m) + S_{t-s+m} \quad (8)$$

The main difference between the additive-seasonal Holt Winters technique and the multiplicative-seasonal Holt Winters technique is the calculation of seasonal indices. In particular, in the additive-seasonal Holt Winters technique seasonal indices are calculated as addition and subtraction while in the multiplicative-seasonal Holt Winters technique seasonal indices are calculated as multiplication and proportioning (Makridakis et al., 2008).

Optimum α, β, γ parameters are found as 0.23, 0.12, 0.45 respectively

Ridge Regression

Ridge regression is one of the biased estimation methods in case of multiple linear connections, that allows all necessary variables to be modeled. This

method aims to obtain parameter cross-sections with smaller variance than OLS (Ordinary least squares) estimations in case of multiple linear connections and to remove unnecessary variables from the model (Karadavut et al., 2005)

Ridge regression is generally used when there is a high degree of relationship between two or more independent variables in the model.

In multi-regression model, when the explanatory variables are related to each other, the Ridge regression method can estimate the coefficient with smaller variance than the OLS estimator. It can be used to show the uncertainties in the regression coefficients on the graph with strong multi-link effect and to remove unnecessary variables in the model (Yildirim, 2010). In the Ridge regression penalty term is set as 1.5.

Random Forest Regression

Decision tree is a supervised learning method that can be employed for both regression and classification. The decision trees consist of two objects, namely decision nodes and leaves. The leaf is the value of the target attribute and the decision node is the test value that will be applied in one attribute, followed by all possible attribute values belonging to that attribute, and these values form the branches of the tree (Tosun, 2006). In other words, the node refers to the questions, the branch refers to the answers to these questions and the leaf refers to the class in which the decision is made. With the first node of the tree, questions begin to be asked and continue until the nodes or leaves without branches. It is easy to express the decision tree by rules such as if - then structures. Rule consists of number of leaves.

Let x_i be a point in the feature space X and y_i be a class label in a set of class labels Y . We can define each of the samples in the dataset (D) as the tuple (x_i, y_i) . Random Forest Regression aggregates many weak classifiers h_t into a regressor $H_{regress}$. A random forest regression is an estimator occurring of a gathering of randomized root regression trees (weak predictors) $h_t(x, \theta_m)$, in which $m \geq 1$ and $\theta_1, \dots, \theta_N$ are independent and equally distributed outputs of a random vector θ (Biau, 2012; Breiman, 2001).

The result of these random trees is amalgamated to shape the gathered regression prediction by the following equation:

$$H_{regress}(x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h_t(x, \theta) \quad (9)$$

in which $x \in D_t$, training samples D_t and T stands for the number of trees in the forest.

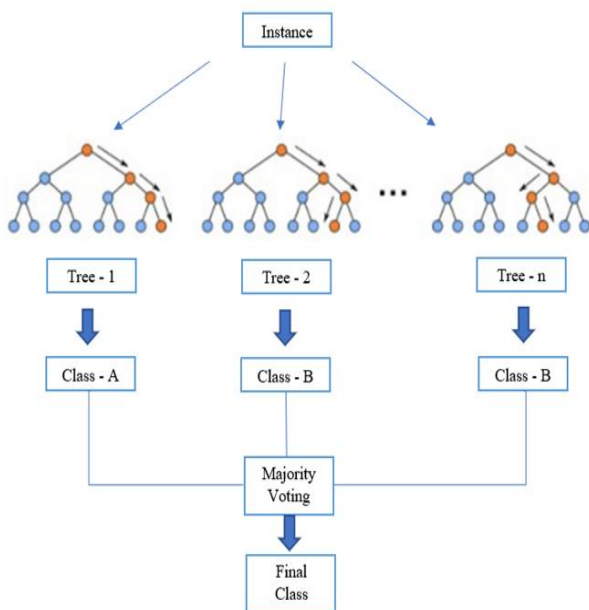


Figure 3. A Simplified Example Of A Random Forest (Chakure, 2019)

The random forest has some important advantages such as a non-parametric structure and ensuring higher classification accuracy than other classifiers. Moreover, considering the appropriate features for the characterization of training forms, it has skilled of detecting the significance of the features (Rodriguez-Galiano et al., 2012), and it is powerful against unbalanced class distribution (C. Chen et al., 2004).

In Random Forest algorithm values for number of trees and maximum depth are set as 100 and 5.

Gradient Boosting

Gradient Boosting is a tree-based Machine Learning method that utilizes boosting structure. Such as random forests Gradient Boosting also consists of ensemble of weak learners. In boosting algorithm, a strong learner is constructed from weak learners in an iterative fashion. Let $F_k(x)$ be a function that predicts output y using input x . A new weak estimator $h_k(x)$ is added to model to predict the output more accurately as shown in the following equation.

$$y = F_{k+1}(x) = F_k(x) + h_k(x) \quad (10)$$

Therefore, the new weak learner will fit the error generated by the model $F_k(x)$

$$h_k(x) = y - F_k(x) \quad (11)$$

In this study we used a variant of Gradient Boosting method called Xgboost.

In Xgboost we set the number of models to 100, max depth of each tree to 4 and learning parameter alpha to 0.01

Error Function

In order to assess the performance of studied methods, we use RMSPE (Root Mean Squared Percentage Error) metric. The RMSPE calculated as follows :

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (12)$$

where y_i denotes the actual values, \hat{y}_i denotes the corresponding prediction and n denotes the number of samples.

Fructose Consumption Induces Cell Death Through Endoplasmic Reticulum Stress in Pancreas and Changes Biochemical Parameters in Blood

Fruktoz Tüketimi Pankreasta Endoplazmik Retikulum Stresi Yoluyla Hücre Ölümüne Neden Olur ve Kandaki Biyokimyasal Parametreleri Değiştirir

Zeynep Mine COSKUN YAZICI¹ , Melike ERSOZ¹ , Zehra Yaren DONMEZ¹ ,
Esmâ Nur DEMİR¹ , Berin Sena ARSLAN¹ , Sema GUBUR² , Aynur ACAR¹ 

¹Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Arts and Sciences, Demiroglu Bilim University, Istanbul, Turkey

²Department of Nutrition and Dietetics, Institute of Health Sciences, Baskent University Ankara, Turkey

Abstract

Fructose is the natural sugar found in fruits. This sugar is widely used in all ready-to-eat foods, especially soft drinks. The present study aims to investigate how fructose consumption affects biochemical parameters in the blood and whether it leads to cell death in pancreatic tissue, triggered by endoplasmic reticulum (ER) stress. Sprague-Dawley rats were divided into a control and a fructose group. The control group (n=7) had free access to tap water and standard pellets, whereas the fructose group (n=7) received 20% fructose in drinking water for eight weeks. Food and fluid intake of the rats were measured daily during the experiment. Lipid levels and total oxidant/antioxidant statuses in blood were analyzed. The expression of glucose-regulated protein-78 (Grp-78), inositol-requiring enzyme-1 α (IRE1- α), protein kinase R-like ER kinase (PERK), activating transcription factor (ATF)-4 and -6, CCAAT/enhancer-binding homologous protein (CHOP), and caspase (Cas)-3/-8/-9/-12 mRNA were detected in the pancreas. Consumption of fructose resulted in an increase in serum triglycerides and very low-density lipoprotein levels and in mRNA expression levels of Grp-78, IRE-1 α , PERK, ATF-4, -6 and Cas-3/-8/-9/-12 in the pancreas compared with control group. Fructose consumption can lead to disruption of the lipid profile and the balance between oxidants and antioxidants, as well as trigger ER stress, which causes programmed cell death. These alterations can lead to the development of many diseases.

Keywords: Apoptosis, cell death, ER stress, fructose, oxidative stress

Öz

Fruktoz meyvelerde bulunan doğal bir şekerdir. Bu şeker, başta meşrubatlar olmak üzere tüm hazır gıdalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, fruktoz tüketiminin kandaki biyokimyasal parametreleri nasıl etkilediğini ve pankreas dokusunda endoplazmik retikulum (ER) stres kaynaklı hücre ölümüne neden olup olmadığını araştırmayı amaçlamaktadır. Sprague-Dawley sıçanlar kontrol ve fruktoz gruplarına ayrıldı. Kontrol grubu (n=7) standart pellet ve çeşme suyu ile beslendi, fruktoz grubunun (n=7) içme suyuna %20 fruktoz 8 hafta boyunca eklendi. Deney süresince sıçanların günlük yem ve sıvı tüketimleri ölçüldü. Kandaki lipid seviyeleri ve toplam oksidan/antioksidan durumları analiz edildi. Pankreas dokusunda glukozla düzenlenen protein 78 (Grp-78), inozitol gerektiren enzim 1 α (IRE1- α), protein kinaz R benzeri ER kinaz (PERK), aktive edici transkripsiyon faktörü (ATF)-4 ve -6, C/EBP homolog protein (CHOP), Kaspaz (Cas)-3/-8/-9/-12 mRNA ekspresyon seviyeleri tespit edildi. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında fruktoz tüketimi, serumda trigliserid ve çok düşük yoğunluklu lipoprotein düzeylerini ve pankreasta Grp-78, IRE-1 α , PERK, ATF-4, -6 ve Cas-3/-8/-9/-12 mRNA ekspresyon düzeylerini artırdı. Fruktoz tüketimi lipid profilinin ve oksidan/antioksidan dengesinin bozulmasına neden olabileceği gibi ER stresini tetikleyerek programlı hücre ölümüne neden olabilir. Bu değişiklikler birçok hastalığın gelişmesine yol açabilir.

Anahtar Kelimeler: Apoptoz, hücre ölümü, ER stresi, fruktoz, oksidatif stres

I. INTRODUCTION

Lately, the use of high-fructose corn syrups has become widespread due to increase in industrialization and the effects of increase in fructose consumption on human health have begun to be questioned. The hypothesis that fructose-rich foods and beverages delay the feeling of fullness and, cause them to be consumed more, increase the lipogenesis by influencing some regulatory mechanisms such as insulin and leptin hormones and thus induce insulin resistance and obesity-related diseases is discussed [1, 2].

Corresponding Author: Zeynep Mine COSKUN YAZICI, Tel: +90 212 213 64 83,

e-posta: zeynepmine.coskun@demiroglu.bilim.edu.tr

Submitted: 09.06.2022, **Revised:** 19.09.2022, **Accepted:** 19.09.2022

In healthy fed individuals, small adipocytes in the adipose tissue protect the main metabolic organs such as the liver, pancreas and muscles from excessive lipid burden. On the other hand, the hypertrophy in adipose tissues develops due to excessive triglyceride accumulation from high carbohydrate consumption. As a result, triglyceride and/or other lipid metabolites are distributed to non-adipose tissue such as liver, muscle, pancreas, and interact with insulin signaling pathways [3, 4].

Pancreatic beta cells have primary role in glucose homeostasis associated with insulin secretion. In cases of increased insulin secretion, there is a discrepancy between protein synthesis and protein folding capacity of endoplasmic reticulum (ER) due to impaired insulin secretion in overloaded pancreatic beta cells. Accordingly, incorrectly folded or unfolded proteins accumulate in ER lumen, resulting in ER stress [5-7]. Initially ER-associated degradation (ERAD), an integral part of the ER stress response, removes excess or misfolded intracellular proteins. The ERAD mechanism tries to change environment and reestablish normal ER function. When ERAD fails to maintain ER homeostasis, excessive and prolonged ER stress activates unfolded protein response (UPR). UPR consists of three pathways; Protein kinase R-like ER kinase (PERK), inositol requiring enzyme-1 (IRE-1) and activating transcription factor-6 (ATF-6) signal pathways. When UPR is activated, the capacity of ER and the translation of genes encoding folding enzymes are stimulated to fold unfolded proteins in the ER lumen. If unfolded protein-induced ER stress continues, the cell is directed to programmed cell death [8, 9].

It has been reported that oxidative stress induced by the production of excessive reactive oxygen species (ROS) is one of the most important factors causing the increase of UPR and ER stress by changing the functions of the enzymes that fold proteins, and is a potent inducer of apoptosis called programmed cell death [10, 11]. Studies suggest that fructose causes oxidation of lipid, protein and DNA damage by increasing ROS production and disturbing antioxidant defense mechanisms [12, 13].

This study aims to investigate the effects of fructose consumption on blood biochemical parameters and apoptosis induced by ER stress in rat pancreas. For this purpose, the mRNA transcription levels of ER stress and of ER stress-induced cell death markers in pancreatic tissues, lipid profile in serum, the total amount of oxidant/antioxidant in plasma and the lipid peroxidation levels were determined.

II. MATERIAL AND METHODS

2.1. Experimental Design

This study was performed according to the approval of the Local Ethics Committee of the Animal

Experiments of Bezmialem Vakif University. The 8-10 week old male Sprague-Dawley rats were fed ad libitum with a standard pellet diet and tap water. The rats maintained under standard laboratory conditions of 12 h light/12 h dark period at $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ room temperature. Animals were randomly divided into two groups as control and fructose groups. Control group ($n = 7$) was given tap water and standard feed for 8 weeks. Fructose group ($n = 7$) received 20% fructose dissolved in tap water, prepared freshly every day during the 8-week experiment (fructose was consumed orally as daily drinking water). The animals were sacrificed at the end of 8 weeks. The blood and pancreas tissues were removed from the animals. Pancreas tissue samples were fixed in liquid nitrogen and stored at $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2. Body Weight Gain (BWG), Food and Water Consumptions

BWG was calculated by taking the weight of body weights measured at the end of the 8th week and the body weights before starting the experiment. The amount of feed and water consumed daily was measured during the experiment.

2.3. Serum Lipid Profile

Total cholesterol, high-density lipoprotein (HDL), low-density lipoprotein (LDL), very low-density lipoprotein (VLDL) and triglycerides (TG) were measured with used colorimetric assays using the Roche Cobas c501 (Roche Diagnostics Ltd. Switzerland).

2.4. The Measurement of Total Oxidant/Antioxidant Status (TAS/TOS) in Plasma

The plasma TOS and TAS levels were determined using the Total Oxidant / Antioxidant Status Kit (Rel Assay Diagnostics, Gaziantep, Turkey). The absorbance values of the samples for TOS and TAS were read using UV-1280 UV-VIS spectrophotometer (Shimadzu, Tokyo, Japan) at wavelengths of 530 and 660 nm, respectively.

2.5. Analysis of Lipid Peroxidation

The level of lipid peroxidation was analyzed by the procedure of Ledwozyw et al. [14]. Plasma specimens were mixed with a solution of 30% trichloroacetic acid (T6399, Sigma-Aldrich, USA), 0.75% thiobarbituric acid (TBA, 108180, Merck, Germany) and 5 M HCl. Malondialdehyde (MDA) reacts with TBA to develop a colored product. The color produced in plasma samples was measured at 532 nm by using UV-1280 UV-VIS spectrophotometer (Shimadzu, Tokyo, Japan).

2.6. Quantitative Real-Time PCR (qRT-PCR) Assay

Expressions of mRNAs for the ER stress and apoptosis, GRP-78, PERK, ATF-4, IRE-1 α , ATF-6, CHOP, caspase (Cas)-12 and Cas-3/-8/-9 were quantified by qRT-PCR. Total RNA was extracted

from pancreas tissues using the RNA Extraction Kit (Hybrigen, R1051, Turkey) according to the manufacturer protocol. The purity and concentration of RNA were determined by Qubit® 2.0 Fluorometer (Invitrogen, USA). Reverse transcription was conducted by High Capacity cDNA Reverse Transcription Kit (Applied Biosystems, 4368814, CA, USA) using 1 µg of total RNA per sample. Transcriptional levels of targeted genes were analyzed by qRT-PCR using SYBR Green qPCR Master Mix reagent system. Each run consisted of 95°C for 5 min followed by 45 cycles of 95°C for 30 s, 59°C for 25 s, and 72°C for 30 s in the CFX96 Touch Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, USA). Beta actin (β -actin) was used as a housekeeping gene for

normalizing the transcription data. The primer designs are presented in table 1. The relative mRNA levels were normalized to β -actin mRNA levels using the Pfaffl method [15].

2.7. Statistics

All results were presented as mean \pm SEM and median (interquartile, IQR). Data were calculated with the GraphPad Prism 5 computer program. The Shapiro - Wilk test was used to detect whether the data were normally distributed. The comparisons between groups were statistically determined using independent samples t-test and the Mann-Whitney U test. $p < 0.05$ was considered statistically significant.

Table 1. Primers used for the mRNA expression studies.

Genes	Primer Sequence
GRP-78 Glucose-Regulated Protein-78	F 5'-CCG TAA CAA TCA AGG TCT ACG A-3' R 5'-AAG GTG ACT TCA ATC TGG GGT A-3'
PERK Protein kinase-like Endoplasmic Reticulum Kinase	F 5'-GAT CCG TCT CCC AAA CAG G-3' R 5'-TAG CCA AGG CTT TGA CTT CC-3'
IRE-1α Inositol-Requiring Enzyme-1 α	F 5' CCT GAG GAA TTA CTG GCT TCT C-3' R 5' TCC AGC ATC TTG GTG GAT G-3'
ATF-4 Activating Transcription Factor-4	F 5'-GTT GGT CAG TGC CTC AGA CA-3' R 5'-CAT TCG AAA CAG AGC ATC GA-3'
ATF-6 Activating Transcription Factor-6	F 5'-GGG AGT GAG CTG CAG GTG TA-3' R 5'-TTA TGG GTG GTA GCT GGT AA-3'
CHOP CCAAT/enhancer-binding Homologous Protein	F 5'-AGC TGG AAG CCT GGT ATG AGG A-3' R 5'-GCT AGG GAT GCA GGG TCA A-3'
Cas-3 Caspase-3	F 5'- ACT GGA AAG CCG AAA CTC TTC-3' R 5'-AGT TCC ACT GTC TGT CTC AAT A-3'
Cas-8 Caspase-8	F 5'- TCT GCT GGG GAT GGC TAC T-3' R 5'- CAT GTT CCT CGG GTT GTC TT -3'
Cas-9 Caspase-9	F 5'- CTC CTG GAG AGA CAA GAA GAG C -3' R 5'- AAA ACA GCC AGG AAT CTG CT -3'
Cas-12 Caspase-12	F 5'-TAA CAA AGG CCC ATG TGG AG-3' R 5'-TCG GAA AAT TTC TTC CAA ATG AT-3'
β-actin Beta actin	F 5'- CTA AGG CCA ACC GTG AAA AG -3' R 5'- TCT CCG GAG TCC ATC ACA AT -3'

III. RESULTS

3.1. BWG and Food & Fluid Intake

BWG showed a slightly increase in fructose group compared to control group rats. We observed that the consumption of fluid was high in rat with fructose group compared to control group ($p < 0.01$). However, the food consumption in fructose group was low compared to control rats ($p < 0.001$, Table 2).

3.2. The Measurement of Serum Lipids

Serum total cholesterol, VLDL and TG levels significantly increased in fructose group compared to control group ($p < 0.01$ for all). On the contrary, serum HDL and LDL levels were the same between two groups (Table 2)

3.3. Plasma TOS, TAS and MDA Levels

The levels of TOS, TAS and MDA in the blood plasma of control and fructose groups are shown in

table 3. TOS levels did not differ between the two groups but the level of TAS was lower in the fructose group than the control group ($p < 0.05$). Also, plasma MDA levels of fructose group increased compared to control rats ($p < 0.05$).

3.4. Quantitative Real-Time PCR Findings

According to our results, transcriptional level of GRP78 mRNA, one of the ER chaperones, increased in the fructose group compared with the control rats ($p < 0.05$). Similarly, the ER stress markers, PERK, ATF-4, IRE-1 α and ATF-6 were also expressed at a higher level in the fructose group than in the control group ($p < 0.05$). The increase in IRE-1 α mRNA transcription level was higher than the others. CHOP and Cas-12 mRNA levels were high in the fructose group compared to the control group ($p < 0.05$). Cas-3/-8/-9 mRNA levels were significantly higher in the fructose group than the control group ($p < 0.05$), (Figs.1 and 2).

Table 2. Food and liquid consumptions, body weight gain and biochemical parameters of the groups.

		Control	Fructose Group	P value
BWG (g)*	mean \pm SEM	123.71 \pm 6.35	143.57 \pm 7.63	> 0.05
	median (IQR)	125 (120- 134)	145 (125 – 168)	
Food intake (g/day)*	mean \pm SEM	22.82 \pm 0.60	12.35 \pm 0.50	< 0.001
	median (IQR)	22.91 (21.18- 23.17)	11,98 (11.29 – 13.80)	
Water intake (mL/day)*	mean \pm SEM	36.80 \pm 0.89	44.01 \pm 2.00	< 0.01
	median (IQR)	36.41 (35.15 – 38.71)	43.66 (38.69 – 47.01)	
Cholesterol (mg/dL)*	mean \pm SEM	70.57 \pm 3.12	79.71 \pm 2.56	< 0.05
	median (IQR)	73 (61 – 77)	81 (76 – 86)	
HDL (mg/dL)*	mean \pm SEM	58.71 \pm 2.95	63.85 \pm 2.93	> 0.05
	median (IQR)	57 (54 - 66)	60 (60- 72)	
LDL (mg/dL)*	mean \pm SEM	18.42 \pm 1.58	17.14 \pm 0.85	> 0.05
	median (IQR)	18 (16 - 23)	16 (15 -19)	
VLDL (mg/dL)*	mean \pm SEM	7.42 \pm 0.57	11.29 \pm 0.77	< 0.01
	median (IQR)	7 (6 - 9)	12 (9 – 13)	
TG (mg/dL)*	mean \pm SEM	36.28 \pm 2.79	56.57 \pm 3.87	< 0.01
	median (IQR)	35 (30- 43)	61 (43- 65)	

*Data are shown as the mean \pm SEM and median (interquartile, IQR); BWG: Body weight gain; HDL: High density lipoprotein; LDL: Low density lipoprotein; VLDL: Very low density lipoprotein; TG: Triglycerid.

Table 3. The measurements of oxidative stress parameters in plasma of fructose and control groups.

	TAS (mmol/L)*	TOS (μ mol/L)*	MDA (μ mol/L)*
Control	4.36 \pm 1.10	4.21 \pm 0.61	5.38 \pm 0.23
Fructose Group	2.07 \pm 0.86	6.01 \pm 1.39	6.36 \pm 0.34
P value	< 0.05	> 0.05	< 0.05

*Data are shown as the mean \pm SEM; TAS: total antioxidant status; TOS: total oxidant status; MDA: malondialdehyde.

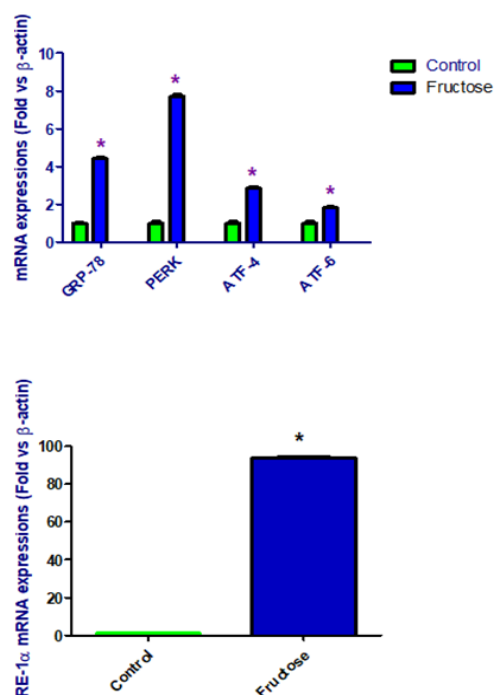


Figure 1. Relative gene expression (Mean \pm SEM) data of ER stress markers: Glucose-regulated protein-78 (GRP-78), protein kinase R-like ER kinase (PERK), activating transcription factor (ATF)-4/-6 and, inositol-requiring enzyme-1 α (IRE-1 α) in pancreas tissues from high- fructose diet and control groups. * $p < 0.05$ compared to the control.

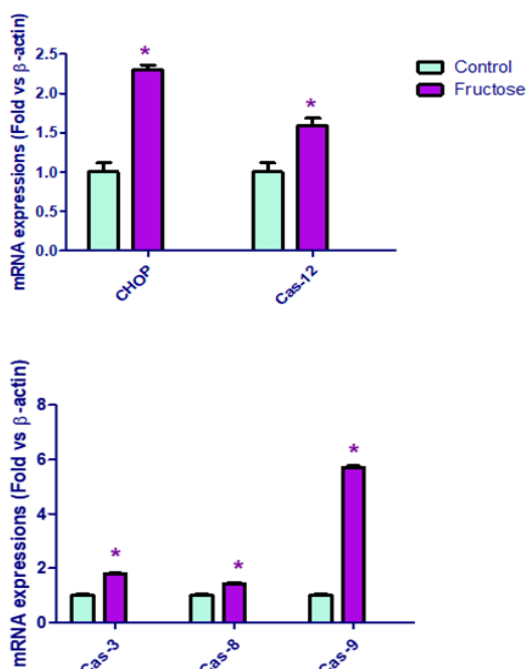


Figure 2. Relative gene expression (Mean \pm SEM) data of proapoptotic/apoptotic markers: CCAAT/enhancer-binding homologous protein (CHOP) and caspase (Cas)-3/-8/-9/-12 in pancreas tissues from high-fructose diet and control groups. * $p < 0.05$ compared to the control.

IV. DISCUSSION

It is reported that chronic fructose consumption induced the increase in body weight due to expanded, hypertrophic visceral white adipose tissue in rats [16]. On the contrary, Ramos et al. [17] showed that fructose consumption in different periods increased liquid intake and reduced food intake but the body weight did not change. Moreover, Oashi et al. [18] found that there was no significant difference in body weight of rats fed high-fructose diet (60% fructose) for 3 or 4 weeks compared to rats fed control diet. Similar to the above studies, food and liquid intake in the fructose-fed rats were inversely altered, while body weights were the same in the present study. The reason for unchanging body weight may be that the amount of calories consumed in the control and fructose groups is almost similar.

When lipid profile changes were examined, serum total cholesterol, TG and VLDL levels were different between the fructose and control groups. Recent studies have shown that high-fructose diet in different times increases serum TG and VLDL levels [19, 20]. Similarly, in our study, 20% fructose application for 8 weeks elevated the TG and VLDL levels. Studies have shown evidences that fructose increases ROS production and disrupts antioxidant defense mechanisms. It is reported that oxidative damage occurred in both lipid and protein components in rats fed a fructose-rich diet for 8 weeks, SOD activity which is one of the enzymatic components of antioxidant defense system decreased and, inflammation and cellular necrosis findings were present [13, 21, 22]. Our findings also showed an increase in TOS levels of fructose group rats but this increase did not reach statistically significant levels. There was a statistically significant increase in TAS levels of this group. These results are consistent with the findings that showing unfolded proteins in the ER lumen increased ROS production and activated UPR as the 2nd messenger and stimulated apoptosis [23]. Thus it was thought us that high-fructose diet may have an important contribution to the development and progression of oxidative stress. In studies, high-fructose diet has been associated with various oxidative stress biomarkers, especially MDA, which is a by-product of lipid peroxidation [24, 25]. Also, Kelany et al. [26] reported that high-fructose diet increased serum MDA levels, and decreased serum catalase levels. Similar to these studies, the increased plasma MDA level in the group given 20% fructose was evaluated as an indicator that fructose induced oxidative stress.

In the literature, there are few studies on the relationship between high-fructose diet and ER stress pathways in pancreas tissue. Studies with mice carrying mutations in the eIF2 α phosphorylation site showed a significant relationship between ER stress pathway and pancreatic cell functions. It has been

shown that diabetic phenotype develops shortly after birth due to beta cell death resulting from ER stress in the mutant PERK^{-/-} mice [27, 28]. Akiyama et al. [29] indicated that XBP1 deficiency in pancreatic α -cells induces altered insulin signaling and dysfunctional glucagon secretion in α -cells created complementary in vivo (α -cell-specific XBP1 knockout mice) and in vitro (stable XBP1 knockdown α -cell line) models. Sundar Rajan et al. [30] showed that ER stress in pancreatic β cells is effective in the varying levels of insulin synthesis and development of diabetes.

Balakumar et al. [31] reported that in the liver and pancreatic tissues of rats fed with combination of high fat diet and high-fructose diet increased the Grp 78, PERK, IRE-1 α , CHOP mRNA levels along with other biological markers involved in ER stress. The study demonstrated that high-fructose diet is as detrimental as high-fat diet in triggering of insulin resistance and diabetes. There are studies showing that ATF-6 is also associated with beta cell function. Especially, studies in humans have reported a relationship between ATF-6 variants and type 2 diabetes [32, 33]. It is known that ATF-6 is an important mediator in the cell's response to accumulation of misfolded proteins in ER. Therefore, it is thought that ATF-6 may be involved in the apoptosis of beta cells but there are no direct evidence indicating its exact role in pancreatic beta cell death [34]. In our study, the transcription levels of Grp-78, IRE-1 α , PERK, ATF-4, ATF-6 mRNA showed statistically significant increases in fructose group compared with the control group. The increase in IRE-1 α mRNA transcription level is higher than the others. It is suggested that IRE-1 was thought to be the most important pathway in UPR associated with ER stress in pancreatic tissue.

CHOP and Cas-12 act as mediators of ER stress and activate apoptotic pathway [35, 36]. In our study, similar to ER stress markers, mRNA transcription levels of CHOP and caspase-12 are important elements of the switch from pro-survival to pro-death signaling, showed statistically significant increases in fructose group compared to the control group. Likewise, Balakumar et al. [31] showed that CHOP mRNA levels increased in ER stress induced apoptosis in high-fat/fructose diet fed rats. Chen et al. [37] demonstrated that signaling switches from pro-survival to pro-apoptotic due to increasing in ER stress and the apoptotic response is initiated by caspase-12 in diabetic rats. Furthermore, Cas-9 is known as initiator, whereas Cas-3 and -8 are known as executioner in caspases cascade of apoptosis [38]. Similar to ER stress markers, the levels of Cas-3/-8 and -9 mRNA were also increased in pancreas of fructose group rats in accordance with reported data. Cheng et al. [39] showed that Cas-3/-8 and -9 protein expression levels increased in rats applied high-fructose diet. Kalra et al. [40] reported that Cas-3

expression increased in rat renal epithelial cell lineage cultured in high-fructose. Thus, it is thought that apoptosis may be induced with increased ER stress in the pancreas of rats fed with a high-fructose diet.

In conclusion, we can say that fructose consumption can decrease the level of antioxidant, which can cause the destruction of free radicals in metabolic reactions, and increase the level of MDA as a lipid peroxidation marker. In addition, fructose consumption induces ER stress by increasing the expression of PERK/ATF-4 and -6 and especially IRE-1, the major signaling pathway in ER stress-related UPR. Thus, the increase in ER stress in pancreatic tissue may also trigger increased expression levels of Cas mRNAs, which initiates programmed cell death. However, these results need to be supported by future experiments.

ACKNOWLEDGEMENTS

All experimental studies were carried out in Demiroğlu Bilim University laboratories. The authors thank Demiroğlu Bilim University for the supports.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] Bray, G.A. (2008). Fructose: should we worry? *International Journal of Obesity*, 32, 127-131.
- [2] Khorshidian, N., Shadnoush, M., Zabihzadeh Khajavi, M., Sohrabvandi, S., Yousefi, M., Mortazavian, A.M. (2021). Fructose and high fructose corn syrup: are they a two-edged sword? *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 72, 592-614.
- [3] Stanhope, K.L., Havel, P.J. (2008). Fructose consumption: potential mechanisms for its effects to increase visceral adiposity and induce dyslipidemia and insulin resistance. *Current Opinion in Lipidology*, 19, 16-24.
- [4] Tappy, L., Lê, K.A. (2010). Metabolic effects of fructose and the worldwide increase in obesity. *Physiological Reviews*, 90, 23-46.
- [5] Erkelens, D.W. (2001). Insulin resistance syndrome and type 2 diabetes mellitus. *American Journal of Cardiology*, 88, 38J-42J.
- [6] Grundy, S.M. (2012). Pre-diabetes, metabolic syndrome, and cardiovascular risk. *Journal of the American College of Cardiology*, 59, 635-643.
- [7] Fernandes-da-Silva, A., Miranda, C.S., Santana-Oliveira, D.A., Oliveira-Cordeiro, B., Rangel-Azevedo, C., Silva-Veiga, F.M., Martins, F.F., Souza-Mello, V. (2021). Endoplasmic reticulum stress as the basis of obesity and metabolic diseases: focus on adipose tissue, liver, and pancreas. *European Journal of Nutrition*, 60, 2949-2960.
- [8] Hagenlocher, C., Siebert, R., Taschke, B., Wieske, S., Hausser, A., Rehm, M. (2022). ER

- stress-induced cell death proceeds independently of the TRAIL-R2 signaling axis in pancreatic β cells. *Cell Death Discovery*, 8, 34.
- [9] Wang, W.A., Groenendyk, J., Michalak, M. (2014). Endoplasmic reticulum stress associated responses in cancer. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1843, 2143-2149.
- [10] Kanter, M., Aktas, C., Erboga, M. (2012). Protective effects of quercetin against apoptosis and oxidative stress in streptozotocin-induced diabetic rat testis. *Food & Chemical Toxicology*, 50, 719-725.
- [11] Long, L., Wang, J., Lu, X., Xu, Y., Zheng, S., Luo, C., Li, Y. (2015). Protective effects of scutellarin on type II diabetes mellitus-induced testicular damages related to reactive oxygen species/Bcl-2/Bax and reactive oxygen species/microcirculation/staving pathway in diabetic rat. *Journal of Diabetes Research*, 2015, 252530.
- [12] Bagul, P.K., Middela, H., Matapally, S., Padiya, R., Bastia, T., Madhusudana, K., Reddy, B.R., Chakravarty, S., Banerjee, S.K. (2012). Attenuation of insulin resistance, metabolic syndrome and hepatic oxidative stress by resveratrol in fructose-fed rats. *Pharmacological Research*, 66, 260-268.
- [13] Crescenzo, R., Bianco, F., Falcone, I., Coppola, P., Liverini, G., Iossa, S. (2013). Increased hepatic de novo lipogenesis and mitochondrial efficiency in a model of obesity induced by diets rich in fructose. *European Journal of Nutrition*, 52, 537-545.
- [14] Ledwozyw, A., Michalak, J., Stepień, A., Kadziolka, A. (1986). The relationship between plasma triglycerides, cholesterol, total lipids and lipid peroxidation products during human atherosclerosis. *Clinica Chimica Acta*, 155, 275-283.
- [15] Pfaffl, M.W., (2001). A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. *Nucleic Acids Res*, 29, e45.
- [16] Sangüesa, G., Roglans, N., Montañés, J.C., Baena, M., Velázquez, A.M., Sánchez, R.M., Alegret, M., Laguna, J.C. (2018). Chronic liquid fructose, but not glucose, supplementation selectively induces visceral adipose tissue leptin resistance and hypertrophy in female sprague-dawley rats. *Molecular Nutrition & Food Research*, 27: e1800777.
- [17] Ramos, V.W., Batista, L.O., Albuquerque, K.T. (2017). Effects of fructose consumption on food intake and biochemical and body parameters in Wistar rats. *Revista Portuguesa de Cardiologia*, 36, 937-941.
- [18] Ohashi, K., Ohta, Y., Ishikawa, H., Kitagawa, A. (2021). Orally administered octacosanol improves some features of high fructose-induced metabolic syndrome in rats. *Journal of Clinical Biochemistry & Nutrition*, 68, 58-66.
- [19] Aguilera-Mendez, A., Hernández-Equihua, M.G., Rueda-Rocha, A.C., Guajardo-López, C., Nieto-Aguilar, R., Serrato-Ochoa, D., Ruíz Herrera, L.F., Guzmán-Nateras, J.A. (2018). Protective effect of supplementation with biotin against high-fructose-induced metabolic syndrome in rats. *Nutritional Research*, 57, 86-96.
- [20] Abdelmoneim, D., El-Adl, M., El-Sayed, G., El-Sherbini, E.S. (2021). Protective effect of fenofibrate against high-fat-high-fructose diet induced non-obese NAFLD in rats. *Fundamental & Clinical Pharmacology*, 35, 379-388.
- [21] Mamikutty, N., Thent, Z.C., Haji Suhaimi, F. (2015). Fructose-drinking water induced nonalcoholic fatty liver disease and ultrastructural alteration of hepatocyte mitochondria in male Wistar rat. *Biomed Research International*, 2015, 895961-895967.
- [22] Li, L., Fang, B., Zhang, Y., Yan, L., He, Y., Hu, L., Xu, Q., Li, Q., Dai, X., Kuang, Q., Xu, M., Tan, J., Ge, C. (2022). Carminic acid mitigates fructose-triggered hepatic steatosis by inhibition of oxidative stress and inflammatory reaction. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 145, 112404.
- [23] Malhotra, J.D., Miao, H., Zhang, K., Wolfson, A., Pennathur, S., Pipe, S.W., Kaufman, R.J. (2008). Antioxidants reduce endoplasmic reticulum stress and improve protein secretion. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 105, 18525-18530.
- [24] Ajiboye, T.O., Hussaini, A.A., Nafiu, B.Y., Ibitoye, O.B. (2017). Aqueous seed extract of *Hunteria umbellata* (K. Schum.) Hallier f. (Apocynaceae) palliates hyperglycemia, insulin resistance, dyslipidemia, inflammation and oxidative stress in high-fructose diet-induced metabolic syndrome in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 198, 184-193.
- [25] Ibitoye, O.B., Ajiboye, T.O. (2018). Dietary phenolic acids reverse insulin resistance, hyperglycaemia, dyslipidaemia, inflammation and oxidative stress in high-fructose diet-induced metabolic syndrome rats. *Archives of Physiology & Biochemistry*, 124, 410-417.
- [26] Kelany, M.E., Hakami, T.M., Omar, A.H. (2017). Curcumin improves the metabolic syndrome in high-fructose-diet-fed rats: role of TNF- α , NF- κ B, and oxidative stress. *Canadian Journal of Physiology & Pharmacology*, 95, 140-150.
- [27] Scheuner, D., Song, B., McEwen, E., Liu, C., Laybutt, R., Gillespie, P., Saunders, T., Bonner-Weir, S., Kaufman, R.J. (2001). Translational control is required for the

- unfolded protein response and in vivo glucose homeostasis. *Molecular Cell*, 7, 1165-1176.
- [28] Harding, H.P., Zeng, H., Zhang, Y., Jungries, R., Chung, P., Plesken, H., Sabatini, D.D., Ron, D. (2001). Diabetes mellitus and exocrine pancreatic dysfunction in perk^{-/-} mice reveals a role for translational control in secretory cell survival. *Molecular Cell*, 7, 1153-1163.
- [29] Akiyama, M., Liew, C.W., Lu, S., Hu, J., Martinez, R., Hambro, B., Kennedy, R.T., Kulkarni, R.N. (2013). X-box binding protein 1 is essential for insulin regulation of pancreatic α -cell function. *Diabetes*, 62, 2439-2449.
- [30] Sundar Rajan, S., Srinivasan, V., Balasubramanyam, M., Tatu, U. (2007). Endoplasmic reticulum (ER) stress & diabetes. *Indian Journal of Medical Research*, 125, 411-424.
- [31] Balakumar, M., Raji, L., Prabhu, D., Sathishkumar, C., Prabu, P., Mohan, V., Balasubramanyam, M. (2016). High-fructose diet is as detrimental as high-fat diet in the induction of insulin resistance and diabetes mediated by hepatic/pancreatic endoplasmic reticulum (ER) stress. *Molecular & Cellular Biochemistry*, 423, 93-104.
- [32] Thameem, F., Farook, V.S., Bogardus, C., Prochazka, M. (2006). Association of amino acid variants in the activating transcription factor 6 gene (ATF6) on 1q21-q23 with type 2 diabetes in Pima Indians. *Diabetes*, 55, 839-842.
- [33] Meex, S.J., van Greevenbroek, M.M., Ayoubi, T.A., Vlietinck, R., van Vliet-Ostaptchouk, J.V., Hofker, M.H., Vermeulen, V.M., Schalkwijk, C.G., Feskens, E.J., Boer, J.M., Stehouwer, C.D., van der Kallen, C.J., de Bruin, T.W. (2007). Activating transcription factor 6 polymorphisms and haplotypes are associated with impaired glucose homeostasis and type 2 diabetes in Dutch Caucasians. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 92, 2720-2725.
- [34] Back, S.H., Kang, S.W., Han, J., Chung, H.T. (2012). Endoplasmic reticulum stress in the β -cell pathogenesis of type 2 diabetes. *Experimental Diabetes Research*, 2012, 618396.
- [35] Szegezdi, E., Fitzgerald, U., Samali, A. (2003). Caspase-12 and ER-stress-mediated apoptosis: the story so far. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1010, 186-194.
- [36] Szegezdi, E., Logue, S.E., Gorman, A.M., Samali, A. (2006). Mediators of endoplasmic reticulum stress-induced apoptosis. *EMBO Reports*, 7, 880-885.
- [37] Chen, X., Fu, X.S., Li, C.P., Zhao, H.X. (2014). ER stress and ER stress-induced apoptosis are activated in gastric SMCs in diabetic rats. *World Journal of Gastroenterology*, 20, 8260-8267.
- [38] Riedl, S.J., Shi, Y. (2004). Molecular mechanisms of caspase regulation during apoptosis. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 5, 897-907.
- [39] Cheng, S.M., Cheng, Y.J., Wu, L.Y., Kuo, C.H., Lee, Y.S., Wu, M.C., Huang, C.Y., Ting, H., Lee, S.D. (2014). Activated apoptotic and anti-survival effects on rat hearts with fructose induced metabolic syndrome. *Cell Biochemistry & Function*, 32, 133-141.
- [40] Kalra, J., Mangali, S.B., Bhat, A., Dhar, I., Udumula, M.P., Dhar, A. (2018). Imoxin attenuates high fructose-induced oxidative stress and apoptosis in renal epithelial cells via downregulation of protein kinase R pathway. *Fundamental & Clinical Pharmacology*, 32, 297-305.

Şanlıurfa İlindeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Farkındalık Seviyesinin ve Geçiş Sürecindeki Önceliklerinin Belirlenmesi

Detection of Awareness Level and Priorities in Industry 4.0 Transition Process of SMEs in Sanliurfa Province

Gencay SARIŞIK¹ , Sercan DEMİR¹ , Ahmet Sabri ÖĞÜTLÜ¹ 

¹ Harran üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 63000, Şanlıurfa, Türkiye

Öz

Ülkemizin orta gelir düzeyinden yüksek gelir düzeyine hızla geçiş yapabilmesi için küresel rekabet koşullarına dayanıklı ve katma değeri yüksek ürünlerin üretilebilmesi ve bölgesel imalat sektöründeki KOBİ'lerin yenilikçi yönlerinin artırılması gerekmektedir. Bu bağlamda, KOBİ'lerin Endüstri 4.0 sürecine girebilmeleri için yönetim, finansman, tedarik, üretim ve pazarlama kabiliyetlerinin dijital dönüşüm ile geliştirilmesi bu geçiş aşamasında önemli rol oynamaktadır. Bunun için KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde farkındalıklarının artırılması önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Bu çalışmada, Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin Endüstri 4.0 kavramına yaklaşımları, farkındalık seviyeleri ve geçiş sürecindeki öncelikleri incelenmiştir. Şanlıurfa ili organize sanayi içinde ve dışında bulunan yüz yirmi KOBİ'ye ulaşılarak, KOBİ'lerin dağılımı, Endüstri 4.0 kavramına yaklaşımı, Endüstri 4.0 farkındalık seviyesi ve Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde önceliklerine ilişkin toplam on beş soru ile görüşleri alınmıştır. Özellikle Endüstri 4.0 farkındalık seviyesi ve geçiş sürecinde öncelikleri ile ilgili dokuz hipotez kurulmuştur. Bu hipotezler istatistiksel olarak test edilerek, sektörel bazda farklılıklar bulunmuştur. Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren başta tekstil sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 farkındalık seviyelerini artırabilmeleri için kalkınma ajansı ve KOSGEB destekleri ile teknoloji altyapılarını geliştirmeleri gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Şanlıurfa'daki KOBİ'ler, Farkındalık Seviyesi, Öncelikler

Abstract

In order to rapidly transform from middle-income to high-income level, our country should produce products suitable for global competition and have high added value, and the regional SMEs in the manufacturing sector increase their innovative aspects. In this context, developing management, financing, supply, production, and marketing capabilities with the merits of digital transformation plays a significant role during the Industry 4.0 transition phase of SMEs. Hence, it is necessary to increase the awareness of SMEs in the transition process of Industry 4.0. In this study, the approaches of SMEs to the concept of Industry 4.0 operating in the Sanliurfa region, their awareness levels, and their priorities in the transition process were examined. By reaching the total of a hundred twenty SMEs operating in the Sanliurfa region, their opinions were received with fifteen questions: the distribution of SMEs, their approach to the concept of Industry 4.0, the level of awareness of Industry 4.0, and their priorities in the transition to Industry 4.0. In particular, nine hypotheses regarding Industry 4.0 awareness levels and priorities in the transition process have been described. These hypotheses were tested statistically, and differences were found on a sectoral basis. The results show that SMEs operating in the Sanliurfa region, especially in the textile sector, need to improve their technology infrastructure with the support of development agency and KOSGEB to increase their Industry 4.0 awareness level.

Keywords: Industry 4.0, SMEs in Sanliurfa, Awareness Level, Priorities

I. GİRİŞ

Günümüzde üretimdeki son teknolojik gelişmeler küresel bir dönüşüme yol açarak, Endüstri 4.0 kavramını ortaya çıkarmıştır. Endüstri 4.0'ın uygulanmaya başlaması akıllı üretim teknikleri ile birlikte fiziksel işlemlerin dijital dönüşümü, nesnelerin interneti, derin öğrenme gibi yöntemleri de ekonomik işleyişte ön plana çıkarmaya devam etmektedir [1]. Endüstri 4.0 süreci ile dijital olarak internet ağı üzerinden KOBİ'ler tarafından gerçekleştirilen işlemler artmıştır. Dijitalleşme uygulamaları, sadece pazarlama aşamasında değil, tedarik zincirinin her aşamasında dijitalleşmenin beraberinde getirdiği imkanlarla kullanılan bir uygulama modeline dönüşmüştür [2].

Artan rekabet koşulları ve müşterilerden gelen değişken ve hızlı talepler neticesinde şirketler tedarik zincirlerini daha akıllı, daha şeffaf ve daha esnek hale getirmek istemektedirler [3]. Yeni nesil tedarik zincirleri şirketlere izlenebilirlik, daha hızlı teslimat, kişiselleştirilmiş ürün ve hizmet sunma yeteneği vermekte ve maliyetlerini azaltmalarına yardımcı olmaktadır [4]. Endüstri 4.0 teknolojilerinin ortaya çıkışı üreticilerin artan ürün çeşitliliği ve küresel rekabet ile başa çıkmalarını sağlayacaktır.

Şirketler yeni teknolojileri öğrenirken ve sürekli artan bir hızda yeni ürünler, süreçler ve hizmetler geliştirmelidir. Fakat bu teknolojilere hızlı adaptasyon zor bir süreçtir. Bununla birlikte bu teknolojilerin getirdiği iş çözümlerinin çoğunda, özellikle KOBİ'lerde uzmanlık gerektirebilecek çok disiplinli faaliyetler mevcuttur. Bu nedenle gereken öğrenme süreci temelde farklı yaklaşımları gerektirir [5]. Dördüncü Sanayi Devrimi, nesnelere arasında, insanlar arasında ve insanlar ile nesnelere arasında bilgi alışverişinin yapılacağı ortamın bir sonucu olarak günlük yaşamın tüm yönlerine uygulanması nedeniyle diğer sanayi devrimlerinden ayrılır [6].

Eş zamanlı veri toplayan sistemler, yapay ve dikey sistem entegrasyonu, siber güvenlik, otonom sistemler, büyük veri işleme yeteneği, sanal gerçeklik ve bulut sistemleri, Endüstri 4.0'ın temel yapı taşlarıdır. Kuşkusuz bu tür yeni teknolojik donanımlar yüksek maliyetleri nedeniyle, öncelikle yönetsel kararları gerektirecektir [7].

Dijital dönüşüm Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği geleceğin yeni nesil teknolojilerini betimlemektedir. Anlık dijital veri toplama ve bu verinin kullanımı, bağlanabilirlik, izlenebilirlik, otonom ve gerçek zamanlı karar verme yetenekleri, dördüncü sanayi devriminin en önemli çıktılarının başında gelen akıllı fabrikaların en temel özelliklerindedir. Bu çalışmada, mevcut literatürü tarayarak Endüstri 4.0'ın temelini oluşturan yeni nesil teknolojiler incelenmektedir [8,9]. Dördüncü Sanayi Devrimi'nin kökeni ve üretim sektörünün geleceği tartışılmaktadır [10]. Endüstri 4.0'ın temel blokları olarak kabul edilen dokuz teknolojik trend incelenmektedir [11]. Endüstri 4.0'ın esaslarının belirlenmesi ve bu esasların uygulanması sırasında kilit teknolojilerin kullanım potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla Endüstri 4.0'ın tasarım ilkeleri tartışılmaktadır [12]. Endüstri 4.0 uygulamalarından faydalanan işletmelerin yönetsel görüşleri sunulmaktadır [13]. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili finansman sıkıntısına dikkat çekmek için iş organizasyon modeli tasarımı incelenmektedir [14]. Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirlik fonksiyonları sistematik olarak belirlenmektedir [15]. Endüstri 4.0 teknolojilerinin imalat sektöründe uygulanmasının önündeki engeller hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ekonomiler bağlamında incelenmektedir [16]. İmalat firmalarının Endüstri 4.0'ı benimseme kararlarını etkileyen faktörler belirlenmiş ve bu fenomeni açıklayan üçlü bir kavramsal modelin geliştirilmesi amaçlanmaktadır [17]. Akıllılık ve sürdürülebilirlik boyutları aynı anda kullanılarak tedarik zincirlerinin Endüstri 4.0'a hazırlığını ve uygunluğunu ölçebilecek bir model önerilmekte ve modelin otomotiv sektöründe uygulaması yapılmaktadır [18]. Endüstri 4.0'daki teknolojilerin girdi tüketiminin azaltılması, atıkların yeniden kullanımını, geri dönüşümü, geri kazanımı ve emisyonların azaltılması gibi ana eylem alanları

üzerindeki etkisi araştırılmaktadır [19]. İnsan faktörünü açıkça entegre eden bir Endüstri 4.0 performans yönetim sisteminin hangi özelliklere sahip olması ve hangi temel ilkelere dayanması gerektiği belirlenmektedir [20].

KOBİ'ler teknoloji ve üretim süreçlerini geleceğe hazırlayabilmek, sürdürülebilirliğini sağlayabilmek için bilgi, teknik/teknoloji ve araç gereksinimine ihtiyaç duyarlar. Bazı işletmeler Endüstri 4.0'ın geniş ve karmaşık altyapısından dolayı dijital dönüşümü anlamaya ve fırsatları öngörmeye problem yaşamaktadırlar. Bundan dolayı işletmelerin dönüşüm süreçlerini geleceğe yönelik hazırlayabilmek ve bu süreci sağlıklı bir şekilde yönetebilmek için öncelikle hangi seviyede olduklarını belirlemeleri gerekir [21].

Şanlıurfa ili, Kalkınma Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen bölgesel istatistiki sınıflandırmaya göre altıncı bölgede yer almaktadır [22]. Şanlıurfa ili ekonomik, demografik ve sosyal açılarından gelişimini hızla tamamlamaya çalışan ve bu yönde çeşitli teşvik uygulamalarıyla da desteklenen şehir statüsündedir. Şehrin yüksek nüfus potansiyeli ve tarım sektörü açısından sahip olduğu avantajlardan yararlanılarak katma değeri yüksek ürünlerin üretimi için yeni teknolojilerin kullanılmasının teşvik edilmesi önem arz etmektedir. Bu durum il ekonomisinin üzerinde önemle durulmasını, uygun politikalar ve projeler geliştirilmesini gerektirmektedir [23].

Şanlıurfa ilinde son yıllarda sanayinin artış eğiliminde olması bölge ekonomisi için olumlu bir gelişmedir. TÜİK verilerine göre sanayi sektörünün payı içinde inşaat sektörü de sayıldığından imalat sanayinin payının düşük kaldığı bilinmektedir. Ancak son yıllarda özellikle 2008 yılı ve sonrasında açılan sanayi işletmelerinde ciddi bir artış trendi görülmektedir. Şanlıurfa'da imalat sanayi genel olarak tarıma dayalı sanayi niteliğinde bir görünüm sergilemektedir. TRC2 Bölgesi'nin mevcut potansiyelini göstermesi bakımından genel imalat sanayinin %32'sinin tekstil (pamuk, yün iplik, hazır giyim ve ayakkabı), %29'unun gıda ve %39'unun diğer sektörlerden olması oldukça önemlidir [23, 24].

Yapılan literatür araştırmalarında KOBİ'lerin Endüstri 4.0 farkındalık seviyesi ve geçiş sürecindeki önceliklerinin belirlenmesine yönelik ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada Konya ili imalat sanayisinde Endüstri 4.0 sürecinin KOBİ'lerin teknolojileri kullanım seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Konya ili imalat sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'lerin Endüstri 4.0 dönüşümü açısından başlangıç düzeyinde olduğu, kullanım düzeylerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir [25]. KOBİ'ler ve Endüstri 4.0 konusunda bir meta-sentez çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada Endüstri 4.0 geçiş modelleri ve KOBİ'ler için yol haritaları üzerine araştırmalar yapılmıştır. Endüstri 4.0 geçiş sürecinde

bu süreçte elde edilecek faydalar ve KOBİ'lerin planlamaları karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır [26]. Düzce sanayi bölgesinde bulunan işletmelerin Endüstri 4.0 konularında yaklaşımı ve algısı incelenmiştir. Analiz sonucunda Endüstri 4.0'a yönelik eğilimlerin artırılmasının, kurumlarla işbirliği seviyelerini pozitif yönlü olarak etkilediği görülmüştür. Endüstri 4.0 teknolojilerine önem veren işletmelerin yeni gelişen teknoloji araçlarını önemseydiği; fakat aynı düzeyde yararlanmadığı tespit edilmiştir. İşletmelerin en çok kablosuz iletişim teknolojileri ile sensör teknolojilerinden yararlandığı en az ise robot ve otomasyon, makine öğrenimi ve yapay zekâ gibi teknolojilerden yararlandığı görülmüştür [27]. Şanlıurfa ilindeki sanayi sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a yaklaşımları ile ilgili teorik ve uygulamaya dönük kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, Şanlıurfa ili organize sanayi içinde ve dışında bulunan KOBİ'lerin Endüstri 4.0 kavramına yaklaşımının, farkındalık seviyesinin ve geçiş sürecindeki önceliklerinin ortaya konulması için anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şanlıurfa'da sektörler itibarıyla Endüstri 4.0 için ihtiyaç duyulan analizler yapılmıştır. Böylece çözüm önerileri ve stratejik eylemler tespit edilerek, Endüstri 4.0 farkındalık seviyesinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

II. YÖNTEM

2.1. Araştırma Modeli

Araştırmada yer verilen anketler imalat sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'lere uygulanmıştır. Anketler Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin dağılımı esas alınarak ve global düzeyde uygulanan literatürdeki anket örneklerinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan anket formları üç aşamalı hazırlanmıştır. Birinci aşama KOBİ'lerin sektörel ve çalışan sayısı dağılımından (2), ikinci aşama Endüstri 4.0 kavramına yaklaşımından (4), üçüncü aşama Endüstri 4.0 farkındalık seviyesinden (4), dördüncü aşama ise Endüstri 4.0 geçiş sürecindeki önceliklerden (5) oluşmaktadır. Sorular kapsamında özgün alanlar yer almakla birlikte, anket formu hazırlanırken Endüstri 4.0 geçiş sürecindeki önceliklerin belirlenmesinde literatürdeki kaynaklardan yararlanılmıştır [28-30].

2.2. Evren ve Örnekleme

Çalışmada alınacak örneklem büyüklüğü Şanlıurfa ilinin ekonomik düzeyi, işletme sayıları ve sektörel farklılıkları dikkate alınarak tabakalı örnekleme yönteminden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre 120 KOBİ dikkate alınmıştır.

2.3. Araştırmanın Etik Yönü

Bu makale çalışmasında veri toplamaya başlanmadan önce Harran Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulundan 15.04.2022 tarih ve 2022/60 sayılı onay alınmıştır.

2.4. Veri Toplama Aracı

Veri toplama aracı olarak kullanılacak anket yöntemi için araştırmacılar tarafından KOBİ'lere uygulanmak üzere bir anket formu geliştirilmiştir. Anket uygulaması Şanlıurfa ilinde imalat sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'ler ile interaktif olarak yapılmıştır. Bu firmalarda çalışan üst düzey yöneticiler, üretim planlama, ARGE, kalite, pazarlama departmanlarında çalışanlar araştırma anketini doldurmuşlardır. Anketlerde S1, S2, S3 ve S4 nolu sorularda 5'li

KOBİ'lerin Endüstri 4.0 farkındalık seviyesine ilişkin anket soruları aşağıda verilmiştir.

- S1: İşletmenizde Endüstri 4.0 (Endüstri 4.0) ile ilgili farkındalık hangi seviyededir?
- S2: İşletmenizin faaliyet gösterdiği sektör dikkate alındığında ulusal ve uluslararası rekabette Endüstri 4.0'a geçme ihtiyacınız hangi seviyededir?
- S3: İşletmenizin yönetim, muhasebe/finansman, satın alma, üretim, pazarlama departmanında üretilen verilerin stratejik karar almada kullanılabilme düzeylerini belirtiniz?
- S4: İşletmenizde üretim süreci akıllı sensörler vasıtasıyla izlenebiliyor mu?

KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecindeki önceliklerine ilişkin anket soruları aşağıda verilmiştir.

Önümüzdeki 10-15 yıl içerisinde bütün sosyal ve ekonomik faaliyetleri etkilemesi beklenen Endüstri 4.0'a geçiş için, hangi seçenekler size daha uygun gelmektedir?

- S5: Üretim yönetimi sistemi ve müşteri ilişkileri yönetimi sistemleri kullanımı
- S6: Büyük veri teknolojileri alt yapı kullanımı
- S7: Üretim ve tedarik zinciri takibine ilişkin veri tabanı kullanımı
- S8: Pazarlama stratejileri ile ürün geliştirme süreçlerinin takibine ilişkin veri tabanı kullanımı
- S9: İşletmedeki bazı makine ve cihazların bilgi teknolojilerinde kullanımı

2.5. Verilerin Analizi

KOBİ'lerin Endüstri 4.0 kavramına yaklaşımları, farkındalık seviyeleri ve geçiş sürecindeki önceliklerine ilişkin davranışlarını belirlenmiştir. Soru setleri hazırlanarak, elde edilen verilerden yüzde dağılımları ve aritmetik ortalama gibi tanımlayıcı istatistiksel analizlerden faydalanılmıştır. Anketlerin değerlendirilmesiyle ilgili olarak verilerin istatistiksel analizlerinde SPSS 26.0 paket programı kullanılmıştır. Araştırmaya katılan KOBİ'lerin sektörler arası Endüstri 4.0 farkındalık seviyeleri ve geçiş sürecindeki öncelikleri dikkate alınarak hipotezler kurulmuştur. Hipotezler tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yöntemi ile test edilmiştir.

III. BULGULAR

3.1. Araştırmaya Katılan KOBİ'lere İlişkin Bulgular

Çalışmada KOBİ bilgileri başlığı altında; işletmenin sektörel faaliyet alanı ve işletmenin çalışan sayısı sorgulanmıştır. Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerin dağılımları Tablo 1'de verilmiştir.

Çalışmada imalat sektöründen tekstil imalat ürünleri üreten KOBİ sayısı 40 ve %3,33, gıda imalat ürünleri üreten KOBİ sayısı 32 ve % 26,67, kimya imalat ürünleri üreten KOBİ sayısı 20 ve % 16,67, elektrik-elektronik imalat ürünleri üreten KOBİ sayısı 16 ve % 13,33 ve makine imalat ürünleri üreten KOBİ sayısı 12 ve % 10 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada KOBİ'lerin dağılımının % 33,33'ünü tekstil ve % 26,67'sini gıda sektörü oluştururken, % 40 ise diğer sektörlerden oluştuğu görülmektedir.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerin çalışan sayılarına göre dağılımları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Sektörlere göre KOBİ dağılımları

İmalat Sektörleri	KOBİ Sayı	Yüzde (%)
Tekstil	40	33,33
Gıda	32	26,67
Kimya	20	16,67
Elektrik-Elektronik	16	13,33
Makina	12	10,00
Genel Toplam	120	100,0

Çalışmada tekstil, gıda, kimya ve elektrik elektronik sektöründe 10-49 arası çalışan sayısı yaklaşık % 40-45 iken, makine sektöründe 1-9 arasında çalışan sayısında % 50 olarak tespit edilmiştir. Genel toplamda ise 10-49 arasında çalışan sayısının % 41,7 ile en yüksek olduğu görülmektedir.

3.2. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a Kavramına Yaklaşımı
Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 kavramı hakkında görüşleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışan sayılarına göre sektörlerin KOBİ dağılımları

İmalat Sektörü	1-9 arası		10-49 arası		50-249 arası	
	Yüzde (%)	Sayı	Yüzde (%)	Sayı	Yüzde (%)	Sayı
Tekstil	22,5	9	45,0	18	32,5	13
Gıda	25,0	8	43,8	14	31,2	10
Kimya	25,0	5	40,0	8	35,0	7
Elektrik-Elektronik	25,0	4	43,8	7	31,3	5
Makina	50,0	6	25,0	3	25,0	3
Genel Toplam	26,7	32	41,7	50	31,6	38

Tablo 3. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 kavramı hakkında görüşleri

İmalat Sektörleri	Yeni ekonomik ilişkiler	Dijital ekonomi	Yapay zeka	Yüksek otomasyon teknolojisi	ARGE
Tekstil	37,5	20,0	20,0	17,5	5,0
Gıda	31,3	25,0	18,8	15,6	9,4
Kimya	25,0	30,0	15,0	20,0	10,0
Elektrik-Elektronik	25,0	25,0	18,8	18,8	12,5
Makina	25,0	25,0	16,7	16,7	16,7
Toplam	30,83	24,17	18,33	17,50	9,17

Tekstil sektöründe yaklaşık %57,5'i, gıda sektöründe 56,3'ü, kimya sektöründe %55'i, elektrik-elektronik ve makine sektörlerinde %50'i Endüstri 4.0 kavramını ekonomi ve dijitalleşme cevapları ile eşdeğer algılamışlardır. Katılımcıların %30,83'ü yeni ekonomik ilişkiler, %24,17'i dijital ekonomi, %18,33'ü yapay zeka, %17,5'i yüksek otomasyon teknolojisi ve %9,17'si ARGE yönündeki görüşleri, Endüstri 4.0 kavramı hakkında bilgi sahibi olduklarını göstermektedir.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerde Endüstri 4.0'ın üretim maliyetleri üzerindeki etkisine ilişkin görüşler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'ın üretim maliyetleri üzerindeki etkisi

İmalat Sektörleri	Olumlu	Olumsuz	Değişmez
Tekstil	47,5	37,5	15,0
Gıda	59,4	25,0	15,6
Kimya	60,0	25,0	15,0
Elektrik-Elektronik	62,5	25,0	12,5
Makina	75,0	16,7	8,3
Genel Toplam	57,50	28,33	14,17

Tekstil sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0'ın üretim maliyetleri üzerindeki etkisini yaklaşık %47,5'u, gıda sektöründe %59,4'ü, kimya sektöründe %60'ı, elektrik-elektronik sektöründe %62,5'u, makine sektöründe %75'i genel toplamda ise % 57,5'u olumlu karşıladıkları görülmektedir.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerde Endüstri 4.0 için bütçe planlaması yapma durumu Tablo 5'te verilmiştir. Endüstri 4.0 için bütçe planlaması yapılmasında tekstil sektörünün yaklaşık %20'si, gıda sektörünün %31,3'ü, kimya sektörünün %40'ı, elektrik-elektronik sektörünün %50'i ve makine sektörünün %66,7'si genel toplamda ise % 35'i evet cevabı vermiştir. Bu bağlamda KOBİ'lere Endüstri 4.0 alanında bölgesel kalkınma ajansı ve KOSGEB destekleri ile altyapı destekleri verilmesinin önemi anlaşılmaktadır.

Tablo 5. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 için bütçe planlaması yapma durumu

İmalat Sektörleri	Evet	Hayır
Tekstil	20,0	80,0
Gıda	31,3	68,8
Kimya	40,0	60,0
Elektrik-Elektronik	50,0	50,0
Makina	66,7	33,3
Genel Toplam	35,0	65,0

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerde Endüstri 4.0'a geçişte karşılaşılabilecek problemler Tablo 6'da verilmiştir.

Endüstri 4.0'a geçişte karşılaşılabilecek problemler değerlendirildiğinde tekstil sektöründe %42,5 ve kimya sektöründe % 25 ile kalifiye eleman yetersizliği, gıda sektöründe %31,3, elektrik-elektronik sektöründe %37,5 ve makine sektöründe % 41,7 ile yazılım yatırım maliyetlerinin yüksekliği öne çıkmaktadır. Şanlıurfa ilinde yapılan saha çalışmalarında elde edilen bulgular ışığında nitelikli eleman yetersizliği problemi belirgin hale gelmiştir [14]. Bu bağlamda Endüstri 4.0 geçiş aşamasında özellikle % 42,5 ile tekstil sektörünün en büyük problemini nitelikli eleman yetersizliği oluşturmaktadır.

3.3. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Farkındalık Seviyesine İlişkin Bulgular

İmalat sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 farkındalık seviyelerine ilişkin hipotezler oluşturulmuştur.

- H1: KOBİ'lerin Endüstri 4.0 kavramı hakkındaki görüşleri konusunda sektörler arası fark vardır.
- H2: KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçme ihtiyacına ilişkin görüşleri konusunda sektörler arası fark vardır.
- H3: KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili üretilen verilerin stratejik karar almada kullanılabilme düzeyi konusunda sektörler arasında fark vardır.
- H4: KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile üretim süreci akıllı sensörler vasıtasıyla izlenmesi konusunda sektörler arasında fark vardır.

Araştırma kapsamında oluşturulan hipotezlerden H₁, H₆, H₃, ve H₄ hipotezleri tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Hipotezler için varyansların homojenliği testi Tablo 7'de verilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarında H₁-H₄ hipotezlerinde p değerinin 0,05'ten büyük olması varyansların homojen olduğunu göstermektedir.

Hipotezler için ANOVA analizi sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. H1-H4 için ANOVA analizinde p değerleri 0,05 değerlerinden küçük olduğu için H1-H4 alternatif hipotezleri kabul edilir.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili farkındalık seviyesi Tablo 9'da verilmiştir. Katılımcıların verdikleri cevaplara göre KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili farkındalık seviyelerinin tekstil sektöründe %60 ile düşük olduğu görülmektedir. Kimya sektöründeki farkındalık seviyesinin %45 ile orta düzeyde olduğu, elektrik-elektronik sektöründeki farkındalık % 37,5 ile yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçişte karşılaşılabilecek problemler

İmalat Sektörleri	Kalifiye eleman yetersizliği	Yazılım yatırım maliyetlerinin yüksekliği	Stratejik planlama anlayışının/kültürünün olmaması	İhtiyaç duyulmaması
Tekstil	42,5	25,0	15,0	17,5
Gıda	28,1	31,3	28,1	12,5
Kimya	30,0	25,0	25,0	20,0
Elektrik-Elektronik	12,5	37,5	31,3	18,8
Makina	8,3	41,7	25,0	25,0
Genel Toplam	29,17	30,00	23,33	14,50

Tablo 7. Hipotezler için varyansların homojenliği testi

Hipotezler	Levene İstatistik	df1	df2	Sig.
H1	2,665	4	115	0,063
H2	0,179	4	115	0,949
H3	3,519	4	115	0,060
H4	1,032	4	115	0,394

Tablo 8. Hipotezler (H) için ANOVA Analizi

H	Kareler Toplam	df	Kareler Ort.	F	Sig
H1	12,419	4	3,105	5,837	0,001
H2	8,400	4	2,100	1,419	0,023
H3	4,269	4	1,067	1,642	0,017
H4	10,775	4	2,694	4,354	0,003

Tablo 9. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili farkındalık seviyeleri

İmalat Sektörleri	Çok Düşük	Düşük	Orta Düzeyde	Yüksek	Çok Yüksek
Tekstil	5,0	60,0	35,0	0,0	0,0
Gıda	0,0	46,9	40,6	12,5	0,0
Kimya	0,0	30,0	45,0	25,0	0,0
Elektrik-Elektronik	0,0	31,3	31,3	37,5	0,0
Makina	0,0	33,3	25,0	33,3	8,3
Genel Toplam	1,67	45,0	36,67	15,83	0,83

Bu bağlamda KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili farkındalık seviyesinin çok düşük olmadığı sonucuna varılmıştır. KOBİ'lere yönelik kamu kurum ve kuruluşların ortak politikalar geliştirilerek, Endüstri 4.0 ile ilgili farkındalık seviyesi artırılabilir.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerin faaliyet gösterdiği sektörler dikkate alındığında ulusal ve uluslararası rekabette Endüstri 4.0'a geçme ihtiyacının hangi seviyede olduğu Tablo 10'da verilmiştir.

Katılımcıların verdikleri cevaplara göre KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçme ihtiyacına ilişkin görüşlerinin tekstil sektöründe %20 oranıyla çok düşük, %30 oranıyla düşük, %30 oranıyla orta, %17,5 oranıyla yüksek olduğu görülmektedir. Endüstri 4.0'a geçme ihtiyacına ilişkin görüşleri orta, yüksek ve çok yüksek seviyede olan KOBİ'lerin genel toplam oranı yaklaşık %58 iken makine sektöründe % 75 ile en yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçme ihtiyacına ilişkin görüşlerinin çok düşük olmadığı sonucuna varılmıştır.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili yönetim, finansman, tedarik, üretim ve pazarlama departmanlarında üretilen verilerin stratejik karar almada kullanılabilme düzeyi Tablo 11'de verilmiştir.

Endüstri 4.0 ile ilgili üretilen verilerin stratejik karar almada kullanılabilme düzeyi tekstil sektöründe yaklaşık %60'ı, gıda sektöründe %46,9'u, kimya sektöründe %55'i, elektrik-elektronik sektöründe %43,8'i ve makine sektöründe %25'dir. Genel toplamda ise % 50'si orta düzeyde, % 5,83'ü yüksek cevabını vermiştir. Endüstri 4.0 ile ilgili yönetim, finansman, tedarik, üretim ve pazarlama departmanlarında üretilen verilerin stratejik karar almada kullanılabilme düzeyi orta, yüksek ve çok yüksek olan KOBİ'lerin genel toplam oranı %61'dir. Buna göre KOBİ'lerin yönetim, finansman, tedarik, üretim ve pazarlama departmanlarında üretim süreçlerine ilişkin veri toplanması ve depolanmasında stratejik karar alma süreçlerinde kullanılmasına ilişkin farkındalıklarını göstermektedir.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile üretim sürecinin akıllı sensörler vasıtasıyla izlenmesi Tablo 12'de verilmiştir. Endüstri 4.0 ile üretim sürecinin akıllı sensörler vasıtasıyla izlenmesi tekstil sektöründe yaklaşık %22,5, gıda sektöründe %40,6, kimya sektöründe %40, elektrik-elektronik sektöründe %43,8 ve makine sektöründe %58,3'tür. Genel toplamda ise % 36,67'i orta düzeyde, % 7,5'ü yüksek ve 1,67'i çok yüksek cevabı vermiştir. Endüstri 4.0 ile üretim sürecinin akıllı sensörler vasıtasıyla izlenmesi tekstil sektöründeki KOBİ'lerin orta, yüksek ve çok yüksek seviyeleri toplamı % 28 ile en düşük iken, makine sektöründe %74,9 ile en yüksek seviyededir. Buna göre makine ve elektrik-elektronik sektörlerinde KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile üretim

sürecinin akıllı sensörler vasıtasıyla izlenmesine ilişkin farkındalıklarının diğer sektörler göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

3.4. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a Geçiş Sürecindeki Önceliklerine İlişkin Bulguları

İmalat sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecindeki önceliklerine ilişkin hipotezler oluşturulmuştur.

- H5: KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde üretim yönetimi sistemi ve müşteri ilişkileri yönetimi sistemleri kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.
- H6: KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde büyük veri teknolojileri alt yapı kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.
- H7: KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde üretim ve tedarik zinciri takibine ilişkin veri tabanı kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.
- H8: KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde pazarlama stratejileri ile ürün geliştirme süreçlerinin takibine ilişkin veri tabanı kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.
- H9: KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde işletmedeki bazı makine ve cihazların bilgi teknolojilerinde kullanımı konusunda sektörler arasında fark vardır.

Araştırma kapsamında oluşturulan hipotezlerden H₅, H₆, H₇, H₈ ve H₉ hipotezleri tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Hipotezler için varyansların homojenliği testi Tablo 13'de verilmiştir.

İstatistiksel analiz sonuçlarında H₅-H₉ hipotezlerinde p değerinin 0,05'ten büyük olması varyansların homojen olduğunu göstermektedir.

Hipotezler için ANOVA analizi sonuçları Tablo 14'de verilmiştir. H₅-H₉ için ANOVA analizinde p değeri 0,05 değerinden küçük olduğu için H₅-H₉ alternatif hipotezleri kabul edilir.

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde benimsediği öncelikli görüşler Tablo 15'de verilmiştir. KOBİ'lerin değerlendirmeye esas konu başlıklarının öncelik oranları birbirine yakın olmaktadır. En yüksek öncelik başlıkları sırasıyla; %54,2 oranıyla makine ve cihazları içeren bilgi teknolojilerin kullanımı, %50 oranıyla pazarlama stratejileri ile ürün geliştirme süreçlerinin takibine ilişkin veri tabanı kullanımı, % 49,2 üretim ve tedarik zinciri takibine ilişkin veri tabanı kullanımı, %46,7 oranıyla büyük veri teknolojileri alt yapı kullanımı, %44,2 oranıyla üretim yönetimi sistemi ve müşteri ilişkileri yönetimi sistemleri kullanımı olarak belirlenmiştir. Endüstri 4.0'a geçişleri açısından önceliklerine göre tekstil sektöründe % 45 ile S₉, kimya sektöründe % 70 ile S₉, elektrik-elektronik sektöründe % 75 ile S₇ ve S₉, makine sektöründe % 66,7 ile S₉ birinci öncelik çıkarken, gıda sektöründe % 62,5 ile S₈ ikinci öncelik çıkmıştır.

Tablo 10. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçme ihtiyacına ilişkin görüşleri

İmalat Sektörleri	Çok düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Tekstil	20,0	30,0	30,0	17,5	2,5
Gıda	18,8	25,0	28,1	18,8	9,4
Kimya	15,0	25,0	30,0	15,0	15,0
Elektrik-Elektronik	12,5	18,8	31,3	18,8	18,8
Makine	8,3	16,7	33,3	16,7	25,0
Genel Toplam	16,67	25,0	30,0	17,50	10,83

Tablo 11. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili üretilen verilerin stratejik karar almada kullanılabilirliği düzeyi

İmalat Sektörleri	Çok düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Tekstil	5,0	35,0	60,0	0,0	0,0
Gıda	3,1	37,5	46,9	9,4	3,1
Kimya	0,0	35,0	55,0	10,0	0,0
Elektrik-Elektronik	0,0	37,5	43,8	6,3	12,5
Makina	0,0	41,7	25,0	8,3	25,0
Genel Toplam	2,5	36,67	50,0	5,83	5,0

Tablo 12. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile üretim sürecinin akıllı sensörler vasıtasıyla izlenmesi

İmalat Sektörleri	Çok düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Tekstil	17,5	57,5	22,5	2,5	0,0
Gıda	9,4	40,6	40,6	9,4	0,0
Kimya	5,0	40,0	40,0	15,0	0,0
Elektrik-Elektronik	0,0	43,8	43,8	6,3	6,3
Makina	0,0	25,0	58,3	8,3	8,3
Genel Toplam	9,17	45,0	36,67	7,50	1,67

Tablo 13. Hipotezler için varyansların homojenliği testi

Hipotez	Levene İstatistik	df1	df2	Sig.
H ₅	2,318	4	115	0,061
H ₆	1,860	4	115	0,122
H ₇	1,674	4	115	0,161
H ₈	2,459	4	115	0,059
H ₉	2,951	4	115	0,053

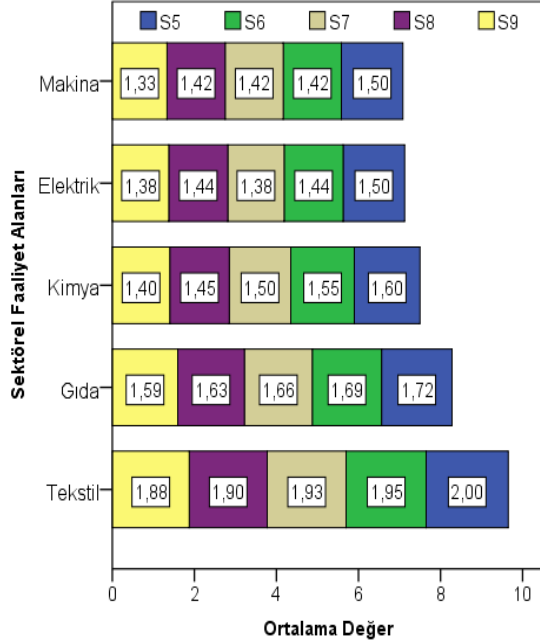
Tablo 14. Hipotezler için ANOVA analizi

H	Kareler Toplam	df	Kare Ort.	F	Sig.
H ₅	4,723	4	1,181	1,828	0,013
H ₆	5,012	4	1,253	2,101	0,050
H ₇	5,331	4	1,333	2,265	0,022
H ₈	4,687	4	1,172	2,014	0,044
H ₉	5,490	4	1,372	2,345	0,039

Tablo 15. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde benimsediği öncelikli görüşler.

İmalat Sektörleri	Öncelik	S5	S6	S7	S8	S9
Tekstil	1.Öncelik	40,0	40,0	40,0	42,5	45,0
	2.Öncelik	32,5	35,0	37,5	35,0	32,5
	3.Öncelik	15,0	15,0	12,5	12,5	12,5
	4.Öncelik	12,5	10,0	10,0	10,0	10,0
Gıda	1.Öncelik	34,4	37,5	37,5	37,5	40,6
	2.Öncelik	59,4	56,3	59,4	62,5	59,4
	3.Öncelik	6,3	6,3	3,1	0,0	0,0
	4.Öncelik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kimya	1.Öncelik	50,0	50,0	60,0	65,0	70,0
	2.Öncelik	40,0	45,0	30,0	25,0	20,0
	3.Öncelik	10,0	5,0	10,0	10,0	10,0
	4.Öncelik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Elektrik-Elektronik	1.Öncelik	62,5	68,8	75,0	68,8	75,0
	2.Öncelik	31,3	25,0	18,8	25,0	18,8
	3.Öncelik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	4.Öncelik	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Makina	1.Öncelik	50,0	58,3	58,3	58,3	66,7
	2.Öncelik	50,0	41,7	41,7	41,7	33,3
	3.Öncelik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	4.Öncelik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Genel Toplam	1.Öncelik	44,2	46,7	49,2	50,0	54,2
	2.Öncelik	42,5	41,7	40,0	40,0	35,8
	3.Öncelik	8,3	7,5	6,7	5,8	5,8
	4.Öncelik	5,0	4,2	4,2	4,2	4,2

Araştırmaya katılan imalat sektöründeki KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde benimsediği önceliklerini belirlemek için S5-S9 anket sorularına verdikleri cevaplar ortalama değerleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Sektörler arası KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş öncelikleri

Şekil 1 incelendiğinde, tekstil sektöründeki işletmelerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde benimsediği önceliklerini belirlemek için S5-S9 anket sorularına verdikleri cevaplar ortalama 2,0 değerinde ikincil öncelik olarak tercih edilmiştir. Makine sektöründeki işletmelerde ise 1,0-1,5 ortalama arasında olduğu için birinci öncelik olarak tercih edildiği görülmektedir. Birinci önceliğe en yakın ortalama makine sektöründe olduğu için Endüstri 4.0'a geçiş sürecini birinci öncelik olarak benimsediği görülmektedir.

IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren 120 KOBİ örnekleminde gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya katılan KOBİ'lere ilişkin temel bilgiler verildikten sonra Endüstri 4.0 kavramına yaklaşımları, farkındalık seviyeleri ve geçiş sürecinde öncelikleri üzerinde durulmuştur. Şanlıurfa ilinde KOBİ'lerin %60'ını tekstil ve gıda sektöründeki işletmeler oluşturduğu için bu sektörlerin dağılımı dikkate alınmıştır. Tekstil, gıda, kimya ve elektrik-elektronik imalat ürünleri sektörlerinde 10-49 arasında çalışan sayısı olan KOBİ'lerin daha çok olduğu görülmektedir. Katılımcıların yaklaşık %55'i Endüstri 4.0 kavramında yeni ekonomik ilişkiler ve dijital ekonomi hakkında daha çok bilgi sahibi olduklarını söylemişlerdir. KOBİ'lerin %58'inin Endüstri 4.0'ın üretim maliyetleri üzerindeki etkisini olumlu karşıladıkları görülmektedir. Endüstri 4.0 için bütçe planlaması yapılmasında KOBİ'lerin %35'i evet cevabını

vermiştir. Özellikle makine sektöründeki KOBİ'lerin %66,7'sinin Endüstri 4.0 için bütçe planlaması yapılmasında daha çok istekli oldukları görülmektedir. Endüstri 4.0'a geçişte karşılaşılan problemlerde özellikle %42,5 ile tekstil sektöründe nitelikli eleman yetersizliği, %41,7 ile makine sektöründe yazılım yatırım maliyetlerinin yüksekliği öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, özellikle Şanlıurfa'da imalat sanayinin genel olarak tarıma dayalı sanayi niteliğinde bir görünüm sergileyerek; tekstil (pamuk, yün iplik, hazır giyim ve ayakkabı) ve gıda sektörünün toplam imalat sanayi içerisindeki payının %61, diğer sektörlerin payının da %39 olduğu görülmektedir. Bu durum TRC2 Bölgesi'nin mevcut potansiyelini göstermesi bakımından oldukça önem taşımaktadır [23, 24]. Şanlıurfa ilinde yapılan saha çalışmalarında elde edilen bulgular ışığında nitelikli eleman yetersizliği problemi belirgin hale gelmiştir [23]. Bu bağlamda Endüstri 4.0 geçiş aşamasında özellikle %42,5 ile tekstil sektörünün en büyük problemini nitelikli eleman yetersizliği oluşturmaktadır. Tüm sektörlerde ise %30 ile yazılım yatırım maliyetlerinin yüksekliği ikinci büyük problem olarak görülmektedir.

KOBİ'lerin Endüstri 4.0 farkındalığı ve geçiş öncelikleri soru setlerinden elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Sektörler arasında Endüstri 4.0 farkındalığı seviyeleri değerlendirme sonuçlarına göre H_1-H_4 hipotezleri kabul edilmiştir. Buna göre farkındalık seviyesinin çok düşük olmadığı sonucuna varılmıştır. KOBİ'lere yönelik kamu kurum ve kuruluşlar ortak politikalar geliştirilerek, Endüstri 4.0 ile ilgili farkındalık seviyesi artırılabilir. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçme ihtiyacına ilişkin görüşleri orta, yüksek ve çok yüksek seviyelerinde toplam %58 olarak tespit edilmiştir. KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçme ihtiyacına ilişkin görüşleri çok düşük olmadığı sonucuna varılmıştır. Şanlıurfa ilinde başta tekstil sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'lerin Endüstri 4.0 farkındalık seviyesini artırabilmek için teknoloji altyapılarını geliştirmeleri gerekmektedir. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili üretilen verilerin stratejik karar almada kullanılabilme düzeyine ilişkin görüşleri orta, yüksek ve çok yüksek seviyelerinde toplam %61 olarak tespit edilmiştir. Buna göre KOBİ'lerin Endüstri 4.0 ile ilgili üretilen verilerin stratejik karar alma süreçlerinde kullanılmasına ilişkin farkındalıklarının oluştuğu gösterilmektedir. Endüstri 4.0 ile üretim sürecinin akıllı sensörler vasıtasıyla izlenme seviyesi tekstil sektöründeki KOBİ'lerde %28 ile en düşük iken; makine sektöründe %74,9 ile en yüksektir. Sektörler arasında Endüstri 4.0 geçiş sürecinde öncelikleri değerlendirme sonuçlarına göre H_5-H_9 hipotezleri kabul edilmiştir. Endüstri 4.0 geçiş sürecinde KOBİ'lerin benimsediği önceliklerde tekstil sektöründe ikincil öncelik, makine sektöründe birinci öncelik tercih edilmiştir. Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde sırayla makine, elektrik ve kimya sektörlerinin birinci önceliği benimsediği görülmektedir.

Araştırmaya katılan Şanlıurfa ilindeki KOBİ'lerin büyük bir çoğunluğunun Endüstri 4.0 sürecine ilişkin farkındalıklarının düşük olduğu tespit edilmiştir. KOBİ'lerin Endüstri 4.0 kavramı dışında aslında Ar-Ge, inovasyon ve dijitalleşme konularında farkındalıklarının olduğu görülmektedir. Bu konuda eğitim ve danışmanlık ihtiyaçlarını belirtmeleri Endüstri 4.0 sürecine uyumlarını göstermektedir. Bu bağlamda özellikle Endüstri 4.0 alanında bölgesel kalkınma ajansları ve KOSGEB destekleri ile altyapı destekleri verilmesi gerekliliğinin önemini arttırmıştır. Sonuç olarak, Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin mevcut durumlarının tespit edilerek Endüstri 4.0 farkındalıkları ve uyum kabiliyetlerinin artırılması bakımından uygulanabilir ve etkin politikaların geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Chou, S. (2019). The Fourth Digital Revolution: Digital fusion with Internet of Things. *Journal of International Affairs*, 72(1), 107-120.
- [2] González, J. L., & Ferencz, J. (2018). Digital trade and market openness. *OECD Trade Policy Papers* No:217.
- [3] Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2016). Learning factory modules for smart factories in industrie 4.0. *Procedia Cirp*, 54, 113-118.
- [4] Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia manufacturing*, 13, 1245-1252.
- [5] Mortensen, S. T., Nygaard, K. K., & Madsen, O. (2019). Outline of an industry 4.0 awareness game. *Procedia Manufacturing*, 31, 309-315.
- [6] Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0: Are we ready?. *Polish Journal of Management Studies*, 17.
- [7] Safar, L., Sopko, J., Dancakova, D., & Woschank, M. (2020). Industry 4.0—Awareness in South India. *Sustainability*, 12(8), 3207.
- [8] Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6(4), 239-242.
- [9] Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering science and technology, an international journal*, 22(3), 899-919.
- [10] Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum]. *IEEE industrial electronics magazine*, 8(2), 56-58.
- [11] Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Hamisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, 9(1), 54-89.
- [12] Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 3928-3937). IEEE.
- [13] Brunelli, J., Lukic, V., Milon, T., & Tantardini, M. (2017). Five lessons from the Frontlines of Industry 4.0. *The Boston Consulting Group: Boston, MA, USA*.
- [14] Safar, L., Sopko, J., Bednar, S., ve Poklemba, R. (2018). Concept of SME business model for industry 4.0 environment. *TEM Journal*, 7(3), 626
- [15] Özçelik, T. O., Erkollar, A., & Cebeci, H. I. (2019). Bir İmalat İşletmesi için Endüstri 4.0 (Dijital) Olgunluk Seviyesi Belirleme Uygulaması. *5th Int. Management Information Systems Conf.*, Ankara, Turkey, October 24-26 2018.
- [16] Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869.
- [17] Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546.
- [18] Khin, S., & Kee, D. M. H. (2022). Factors influencing Industry 4.0 adoption. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- [19] Demir, S., Gunduz, M. A., Kayikci, Y., & Paksoy, T. (2022). Readiness and maturity of smart and sustainable supply chains: a model proposal. *Engineering Management Journal*, 1-26.
- [20] Laskurain-Iturbe, I., Arana-Landín, G., Landeta-Manzano, B., & Uriarte-Gallastegi, N. (2021). Exploring the influence of industry 4.0 technologies on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128944.
- [21] Robert, M., Giuliani, P., & Gurau, C. (2022). Implementing industry 4.0 real-time performance management systems: the case of Schneider Electric. *Production Planning & Control*, 33(2-3), 244-260.
- [22] Karacadağ Kalkınma Ajansı (KKA).(2020). TRC2 Bölgesi Aylık Ekonomik Görünüm Raporu, *Ekonomik Görünüm Raporu*, Sayı: 109.
- [23] Siverekli, E., & Sarıışık, G. (2017). Şanlıurfa İli Sektör Analizi: Mevcut Durum, Çözüm Önerileri Strateji ve Destek Eylem Planı. Türkiye: Ankara, *Uyum Ajans*, 2017, pp. 1-95.
- [24] Karaoğul, E., Sarıışık, G., Siverek, E., & Erdoğan, H. (2020). Şanlıurfa'da Faaliyette Bulunan Firmaların Kalite & Ar-Ge ve Laboratuvar Analiz İhtiyaçları; Mevcut Durum, Beklenti ve Çözüm Önerileri, Türkiye: Ankara, *Ekin Yayınevi*, 2020, pp. 105.
- [25] Yiğitli, B., Güleş, H. K., & Tuğba, S. A. R. I. (2020). Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinde, KOBİ'lerin teknoloji seviyelerinin belirlenmesi: Konya imalat sanayi örneği. *International*

-
- Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 32(3), 320-332.
- [26] Duman, M. Ç. (2021). KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Hazırlık Süreci: Bir Meta-Sentez Çalışması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(2), 624-641.
- [27] Yıldız, M. S., Yıldırım, Y., & Kesici, B. (2021). Düzce Bölgesindeki Firmaların Endüstri 4.0 Yaklaşımı. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(80), 1773-1797.
- [28] Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226, 107617.
- [29] Hamada, T. (2019). Determinants of decision-makers' attitudes toward Industry 4.0 adaptation. *Social Sciences*, 8(5), 140.
- [30] Trotta, D., & Garengo, P. (2019, March). Assessing industry 4.0 maturity: An essential scale for SMEs. In 2019 *8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)* (pp. 69-74). IEEE.

Akaryakıt İstasyonları Özelinde Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik'in Aşamaları ve Uygulamaları

Phases and Applications of the Regulation on Control of Soil Pollution and Point Source Contaminated Sites Specific to Fuel Stations

Orhan GÖKYAY¹ , Gökberk KARA² 

¹ Marmara Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı, 34722, İstanbul, Türkiye

Öz

Sanayinin gelişmesi, nüfusun artması ve şehirleşme gereksinimi, daha çok enerjinin ve kimyasal maddenin tüketimini doğurmuştur. Buna bağlı olarak akaryakıt istasyonlarının sayısı 1990'lı yıllara göre artan bir ivme göstermiştir. Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK) 2022 verilerine göre Türkiye genelinde yaklaşık on üç bin lisanslı aktif akaryakıt istasyonu olduğu ve bu istasyonların faaliyetleri gereği yeraltı akaryakıt tanklarında sürekli olarak binlerce litre akaryakıt ürünleri barındırdıkları bilinmektedir. Akaryakıt istasyonlarının birçoğunun mücavir alan sınırları içerisinde olması, mevcut yeraltı akaryakıt tanklarının yaşlarının 10, hatta 20 yıl üzerinde olması, yeraltı ve yerüstü kaynaklarına yakın mesafede kurulmuş olmaları, gaz detektörü olmayan bodrum katlarının olması, yakıt istasyonlarında olası parlama, patlama, sızıntı gibi nedenlerle toprak ve yeraltı suyu kirliliği başta olmak üzere, çevre ve halk sağlığı açısından birçok potansiyel riski de beraberinde oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, 8.6.2010'da yayımlanan ve 237 adet sektör ve de binlerce tesisi kapsayan Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (TKKNKSDY)'in, faaliyetleri sebebiyle binlerce litre petrol ve türevi kimyasal barındıran akaryakıt istasyonlarının özelinde incelenmesi ve buralarda olası toprak ve yeraltı suyu kirliliğinde çevre ve halk sağlığı açısından TKKNKSDY aşamalarının ortaya konmasıdır. Bu şekilde yaşanan zorlukların azalacağına ve olası kafa karışıklıklarının giderileceğine inanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Petrol Sızıntısı, Toprak ve Yeraltı Suyu Kirliliği, Halk ve Çevre Sağlığı, Akaryakıt İstasyonu, Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (TKKNKSDY)

Abstract

The development of industry, the increase in population and the need for urbanization have led to the consumption of more energy and chemicals. Therefore, the number of fuel stations showed an increasing momentum compared to the 1990s. According to 2022 data of the Energy Market Supervision Board (EMSB), it is known that there are approximately thirteen thousand licensed active fuel stations throughout Türkiye and that these stations constantly contain thousands of liters of fuel products in underground fuel tanks due to their activities. Fuel stations pose many potential risks in terms of environment and public health, particularly groundwater pollution because most of them are within the borders of the adjacent area, the age of the existing underground fuel tanks is over 10 or even 20 years, they are established near underground and aboveground sources, there are basements without gas detectors, and due to possible flashes, explosions, leaks, etc.

The aim of this study is to examine the Regulation on Control of Soil Pollution and Point Source Contaminated Fields (RCSPPSCF), which came into force after being published in the Official Gazette No. 27605 on 8 June 2010, covers 237 sectors and thousands of facilities, specifically for fuel stations that contain thousands of liters of petroleum and derivative chemicals due to their activities and is to reveal the stages of RCSPPSCF in terms of environment and public health in possible soil and groundwater pollution in these areas. It is believed that the difficulties experienced will be reduced and possible confusions will be eliminated.

Keywords: Oil Spill, Soil and Groundwater Contamination, Environment and Public Health, Retail Petroleum Station, Regulation on Controlling Soil Pollution and Point-Source Polluted Fields (RCSPPSCF)

I. GİRİŞ

Sanayileşme ve nüfus artışına bağlı olarak Türkiye'de de motorlu kara taşıtlarının kullanımının ve dolayısıyla petrol ve petrol türevlerine olan ihtiyacın artması ile birlikte ülkenin tamamında yüzlerce akaryakıt istasyonu kurulmuştur ve kurulmaya devam etmektedir. Konumları gereği, şehirlerarası karayolları üzerinde akarsular, rekreasyon alanlarına yakın olmaları, mücavir alan sınırları içerisinde hastane, okul, ibadet alanları gibi hassas alanlara yakın olmaları, faaliyetleri gereği ise, büyük çoğunluğu ulaşım sektöründe kullanılmak üzere, içerisinde

petrol ve türevleri bulunan yeraltı ve/veya yerüstü depolama tankları bulundurmaları sebebiyle toprak ve yeraltı suyu açısından önem arz etmektedirler.

Akaryakıt istasyonları, toprak ve yeraltı suyu kirliliğinin noktasal olarak değerlendirilip, teşhis ve rehabilitasyon aşamalarını da içeren ve 237 sektörü kapsayan TKKNKSDY açısından incelendiğinde; akaryakıt istasyonlarındaki depolama tankları, toprak ve yeraltı suyu kirliliği için potansiyel kirletici kaynağı oluşturmaktadır. Ulaşım, barınma gibi günlük ihtiyaçlar için gerekli enerji kaynağının büyük çoğunluğunun karşılandığı petrol ve türevleri; kaza, sızıntı, sabotaj gibi durumlarda toprak kirliliği ve toprağın geçirimli olması, kirliliğin yeraltı suyuna ulaşması halinde hem bölgede yaşayanlar için hem de çevre sağlığı açısından ciddi problemler oluşturmaktadır [1].

Petrol sektörünün hem dünya hem de Türkiye ekonomisi üzerinde en önemli sektörlerden biri olduğu bilinmektedir. Sanayi ve ev içi tüketim gibi pek çok alanda kullanılan petrol ve ürünleri, dünya enerji ihtiyacının çok önemli bir bölümünü karşılamaktadır [2]. Petrol, içerisinde çevreye ve insan sağlığına önemli zararlar verebilecek toksik kimyasallardan oluşmaktadır.

Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK) belirli aralıklarla Türkiye’de petrol piyasasındaki akaryakıt istasyonları sayılarını yayımlamaktadır. Türkiye’de Petrol Piyasası Bayilik Lisansı verilen ve yürürlükte olan akaryakıt istasyonu sayısı 2014 yılı için 12.878 adet olduğu bilinmektedir [3]. 2022 yılı EPDK istatistikleri incelendiğinde ise ülkemizde 12.961 benzin istasyonu bulunmaktadır. Aktif olarak faaliyet gösteren yaklaşık 13.000 akaryakıt istasyonun her birinde ortalama 4 adet akaryakıt depolama tankının olduğu varsayılırsa, Türkiye’de içerisinde benzin, mazot gibi 50.000’den fazla akaryakıt depolama tankı olduğu düşünülmektedir.

Akaryakıt istasyonları, petrol ve türevlerini depolayan tesisler, petrol rafinerileri öncelikli olmak üzere, birçok sektörde, bazı proseslerde ve sektörlerde hem yeraltı hem de yer üstü tanklarında benzin, mazot gibi petrol ürünleri depolanmaktadır. Akaryakıt istasyonlarının doğası gereği faaliyetlerinden kaynaklı potansiyel kirlilik, çevrenin ve insan sağlığının korunması için alınması gerekli tedbirleri zorunlu kılmaktadır. Çevre ve halk sağlığı açısından düşünüldüğünde, olası herhangi bir petrol sızıntısı, çevre kazası, parlama, patlama sonucu tahribat veya doğal afet (örneğin deprem, erozyon, toprak kayması) durumunda binlerce litrelik yeraltı veya yerüstü tanklarının kirletici konumunda olduğu görülmektedir [3].

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de akaryakıt depolayan, bilinen veya henüz varlığı bilinmeyen

sebeplerle toprak ve yer altı suyuna petrol sızıntısına neden olan firma, kurum ve kuruluşlar bulunmaktadır. Çevre ve halk sağlığını tehdit eden bu potansiyel kaynakların başlıca sebepleri; akaryakıt firmalarının periyodik çevresel yükümlülüklerini yerine getirmemeleri ve böylece ömrü dolan yer altı ya da yerüstü tankları kontrol etmemeleri tanktan toprağa akaryakıt sızmasına neden olmaktadır. Tank veya iletim hatlarından sızan akaryakıt bir süre sonra toprağa temas etmektedir. Toprak eğer geçirimli bir yapıdaysa ve yer altı suyu zemine yakın bir noktada ise kirliliğin yer altı suyuna da karışma potansiyeli bulunmaktadır. Akaryakıt kaynaklı kirlilik yeraltı suyu ile geniş alanlara ulaşmaktadır.

Akaryakıtın toprağa ve dolaylı olarak yeraltı suyuna sızması sebebiyle oluşan kirliliğin tespiti ve giderimi üzerine yapılmış çalışma ve denetimlerin Türkiye’de oldukça sınırlı olduğu bilinmektedir. Valilikler oluru ile Toprak Kirliliği Kirlenmiş Saha Değerlendirme ve İzleme Komisyonları sınırlı denetmenleri ile potansiyel şüpheli sahaları tespit etmektedir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri tarafından yapılan planlı ve ani denetimler çerçevesinde; kimyasal madde barındıran depolama tankları, fabrikalar ve özellikle akaryakıt istasyonları toprağı kirleten veya kirletme potansiyeli olan hassas tesisler arasında yer almaktadır. TKKNKSDY gereğince kapsam dahilinde olan sektörlerle ve yetkililerce yapılan denetimlere bakıldığında, başta sanayinin yoğun olduğu Marmara Bölgesi olmak üzere, tüm Türkiye’de denetlenmediği fakat toprağa kimyasal sızdırma ihtimali olan şüpheli akaryakıt istasyonlarının da dahil olduğu endüstriyel tesislerin, sahaların olduğu bilinmektedir. Türkiye’de toprak ve yeraltı suyunun ne derecede veya ne kadar süredir kirlenmiş olduğu bilinmemekle beraber, toprak kirlilik haritasının çıkarılmasına ilişkin yapılan ve kayıt altına alınmış çalışmalar da oldukça kısıtlıdır [4].

Bu çalışmanın akaryakıt istasyonları özelinde TKKNKSDY’ni inceleyerek, karmaşık görünen süreçleri daha açık bir şekilde ortaya koymaktır. Yönetmeliğin gerektirdiği adımları doğru bir şekilde uygulamak zorlayıcı olabilmektedir. Bu çalışma pek çok gri alanın berraklaşmasına yardımcı olacaktır.

1.1. Petrol Kirliliğinin Toprak ve Yeraltı Suyuna Yayılımı ve Çevreye Etkisi

Petrol piyasası ve toprak kirliliği açısından incelendiğinde “petrol kaynaklı toprak kirliliği” tahribat etkisi yüksek çevre kirliliğine neden olmaktadır. “Kara İnci” olarak da isimlendirilmiş olan petrol ve türevlerinin bilerek veya bilmeyerek önce toprağa, sonra yeraltı suyuna sızma veya dökülmeleri, çevre kirliliğinin oluşmasına neden olduğu için, petrol kirliliği dünyada hassas olarak takip edilmektedir. Dünyada üretilen petrolün yılda yaklaşık 9 milyon metrik tona yaklaştığı bilinmektedir ve üretilen miktarın büyük bir kısmının çevre kirliliği oluşturma

potansiyeli olacak şekilde kullanımının olduğu öngörülmektedir [5]. Petrol ve petrol türevleri; toprak, yüzey suyu, yeraltı suyu, içme suyu, akarsu, göl, kıyı ve deniz kirlenmesine neden olmaktadır. Tüm dünya ülkeleri, petrol kullandığı için petrol kirliliğinin tehdidi altında yaşamaktadır. Nijerya Petrol Enstitüsü'nde 19 Temmuz 1970'te, petrol türevi maddelerden kaynaklı kirlilik nedeniyle, 607 hektar tarım arazisinin kirlendiği tespit edilmiştir [5].

24 Mart 1989'da Alaska'da Exxon-Valdez firmasına ait petrol tankerinden 42 milyon varil ham petrolün dökülmesi doğada kirlenme ve tahribata sebep olmuştur. Bu kirlenme, Prens William Koyu'nu oldukça etkileyerek güneybatı şeridindeki 750 km'den daha fazla bir alana yayılmış (Kenai Yarımadası, Kodiak Adaları ve Alaska Yarımadası) ve milyonlarca kuş ve balığı öldürmüştür [6].

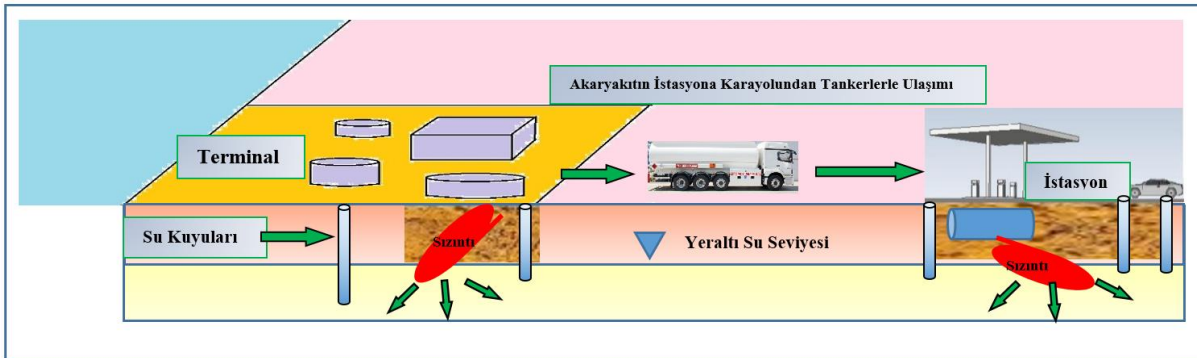
1967 – 2004 yılları arasında denizlerde meydana gelen petrol kirliliği vakaları olmuştur. 20 Nisan 2010 tarihinde Meksika Körfezi'nin kıyıya 40 deniz mili uzaklığında İngiliz BP petrol platformunda meydana gelen yangın ve patlama neticesinde, platformdan çevreye petrol yayılımı olduğu bilinmektedir [7].

Türkiye'de yaşanan pek çok tanker kazası, rafineri ve endüstriyel kirlenme olayları bulunmaktadır [8]. Endüstriyel kirlenme vakalarına örnek olarak, 13 Nisan 2005'te Şanlıurfa'nın Bozova İlçesi'nde petrol taşımacılığı yapan ve Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ) firmasının olduğu tespit edilen petrol içeren boru hatlarında patlama olması sebebiyle çevreye ve Atatürk Barajı Göleti kıyılarında 4 cm kalınlığında kirlilik tabakası oluşmuş olması binlerce ton ham petrol sızmasının sonucudur. Güney Doğu Anadolu Bölgesinde enerji ve sulama amaçlı kullanılan bir baraj gölü olan Fırat Nehri üzerinde kurulu olan Atatürk Baraj Göleti, hem balık ve kaplumbağa üretimi yapılması açısından, hem de içme suyu tesisi olarak kullanılması sebebiyle önemli bir su kaynağıdır. Şanlıurfa İli, Bozova ilçesinde BOTAŞ petrol boru hatlarında sızma olması ve ardından da yangın olması sebebiyle endemik bir tür olan, Fırat Nehri kıyılarında görülen Rafetus kaplumbağaları, petrol kirliliğinden önemli ölçüde zarar görmüş, petrol kirliliğinden etkilenmişlerdir [9].

18 Ocak 2022'de Kahramanmaraş'a bağlı Pazarcık İlçesinde konumlanmış olan BOTAŞ'a ait ham petrol boru hattında patlama olmuş ve petrole bağlı toprak kirliliği meydana gelmiştir [10].

Denizlerde meydana gelen petrol kirliliği sebepleri, petrol tankerleri kazaları, petrol platformlarında meydana gelen kazalar, limanlarda petrol türevi maddelerin gemilere dolumu veya gemilerden boşaltımı olarak sayılabilir. Karada meydana gelen petrol kirliliği sebeplerini ise petrol arama esnasında sondaj çalışmaları sebebiyle petrol rezervuarlarındaki sızıntılar, petrolü karada borular vasıtasıyla taşıyan iletim hatlarında oluşabilecek sızıntılar ve sabotaj gibi vakalar oluşturmaktadır.

Petrolün, toprağa karışması durumunda hareketlilik potansiyeli olduğu ve yayılım neticesinde yeraltı suyuna da sızma olasılığı olduğu bilinmektedir. Petrol toprağı nemlendirir ve toprak yapısının geçirimli olması, hidrojeolojik koşulların imkân oluşturması ile yer altı suyunu da kirlitebilir. Petrolün doğasında bulunan hidrokarbonlar, yeraltı su seviyesine ulaştığında jeolojik ve hidrojeolojik koşullara bağlı olarak dikey ve yatay vaziyette su içinde yayılma eğilimi gösterirler. Petrol arama sondajlarından başlanarak, akaryakıt istasyonlarından araçlara doldurulmasına kadar olan atık materyallerinin toprakta ve yer altı suyunda oluşması potansiyel kontaminasyonun tahmini şeması Şekil 1'de gösterilmiştir. Petrol ve türevi maddelerinin oluşturabileceği bu kirlilik ile karşılaşılması durumunda alınması gereken önlemler; yer altı suyunu ve toprağın kirlenmiş kısmının iyileştirilmesini sağlamak, kaynağında, yani sızma olan alanda vuku bulmuş yatay dağılımı gidermek olmalıdır. Petrol türevi maddelere bağlı kirlenmiş olan toprakların iyileştirilmesi zordur. Özellikle ham petrole bağlı toprak kirliliğinin gideriminin ise daha zor olduğu bilinmektedir. Petrol hidrokarbonları, müdahale edilmez ve toprak temizleme çalışmaları yapılmaz ise, kirliliğin toprak içerisinde yayılımı ihtimalinden dolayı, kirlilik giderimi aylarca sürecektir olan yeraltı suyu kirliliğini de oluşturabilirler [11].



Şekil 1. Toprakta ve yeraltı suyunda petrolün rafinerilerden akaryakıt istasyonlarına olan dağıtım esnasında oluşan kirlilik (uyarlama) [1].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

TKKNKSDY gereğince Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması kapsamında 237 adet sektör belirlenmiştir ve akaryakıt istasyonları da bu sektörlerden biridir. Bu çalışmada akaryakıt istasyonları açısından TKKNKSDY'nin süreçleri ve faaliyet sahiplerinin yükümlülükleri incelenmiştir.

2.1. Akaryakıt İstasyonları Özelinde TKKNKSDY Süreçleri

TKKNKSDY'nin yayımlanması, faaliyetleri gereği kirlenme potansiyeli bulunan 237 adet sektördeki faaliyet sahipleri için bazı zorunluluklar getirmiştir. Bu zorunluluklardan bir tanesi TKKNKSDY EK-3'te ilgili faaliyete ilişkin ön bilgilerin edinildiği formun doldurulması, imzalanması, ilgili Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü'ne sunulması işlemidir. Toprak veya yeraltı suyu kirliliğini gösterir parametreler ise potansiyel toprak kirlenme parametreleri olarak bilinmektedir ve sahaya özgü yani jenerik olarak yine TKKNKSDY EK-2 de belirtilmiştir. TKKNKSDY gereğince akaryakıt istasyonları Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması (NACE) kapsamında kısaca 4730 koduyla belirlenmiş olup, otomotiv yakıtının perakende satışını yapan tesisler olarak nitelendirilmiştir. Akaryakıt istasyonları özelinde; toprak ve yeraltı suyu açısından kirlenmiş ve/veya kirlenme potansiyeli olan tesislerde Kirlilik Tespitinde İzlenecek yol en basit haliyle Şekil 2'de açıklanmıştır.

Akaryakıt tesisinin şüpheli saha olduğunun anlaşılması ile kirlenmiş veya komşu tesisleri de kirlenme potansiyeli bulunan tesiste, alanda, sahada yapılması planlanan toprak örnekleme, analiz çalışmaları sürecin en başından itibaren plan dahilinde ilerlemelidir. Bu sebepledir ki, toprak veya yeraltı suyu örneklemleri başlamadan önce ilgili tesis yetkilisi, toprak ve yeraltı suyu sondaj örnekleme noktalarını, sondaj yöntemlerini, sondaj lokasyonlarını belirleyici planı, yani tesise ilişkin toprak ve yeraltı suyu analiz ve örnekleme planını (SÖAP), toprak yeterlilik belgesi almış olan yetkin kuruluşlara hazırlatması gerekir. SÖAP, uzman yeterlik sahibi kuruluş tarafından ilgili valilik oluru ile oluşturulan Kirlenmiş Saha Değerlendirme ve İzleme Komisyonu'na imzalı olarak sunulup, ancak Komisyonca onaylandıktan sonra toprak ve/veya yeraltı suyu örnekleme çalışması yapılmalıdır [12].

2.2. Petrolün Fiziksel ve Yapısal Özellikleri

Petrol 21. yüzyıldan beri önemli bir enerji kaynağı olmuştur. Petrol kelimesi, Latince "Petro" (Taş) ve "Oleum" (Yağ) kelimelerinin birleşmesiyle "Taşyağı" anlamına gelmektedir. Fiziksel olarak doğada gaz, katı ve sıvı karışım halinde, birlikte "hidrokarbon" tanımlaması yapılmıştır. Gaz fazındaki petrole "Doğal

Gaz", sıvı halinde temin edilen petrole de "Ham Petrol" denilmektedir [13].

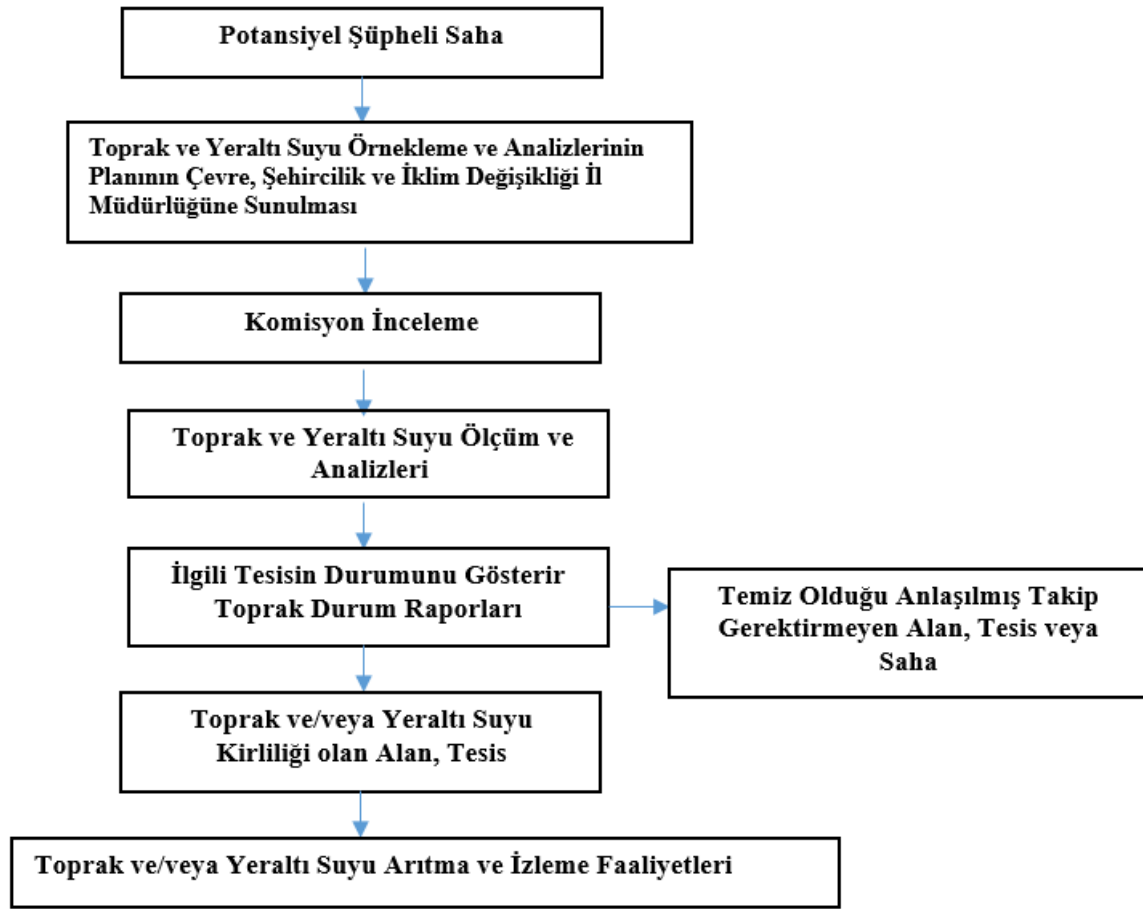
Ham petrolün fiziksel özellikleri incelenirse; yeşil veya yeşilimsi, siyah veya açık sarı renk içerdiği bilinmektedir. Yoğunluk arttıkça renk de koyulaşmaktadır. Hoş kokulu olan petrol içinde hafif hidrokarbonlar; kötü kokulu olan ham petrol içerisinde ise doymamış hidrokarbon, kükürt ve azot bulunduğu bilinmektedir [12]. Ham petrolün yoğunluğu, petrolün kimyasal bileşiminin bir yansımasıdır. Petrolün yoğunluğuna etki eden etmenler ise; içeriğinde bulunan gaz miktarı, kükürt oranı ve sıcaklığı sayılabilir. Petrol, yoğunluğu 1,00 gr/cm³ olan sudan daha hafif bir madde olup, yoğunluğu 0,6 ila 1,00 gr/cm³ olduğu bilinmektedir [14] ve su üzerine çıkmaktadır [15].

Petrol, hidrokarbonlar olarak nitelendirilen karbon ve hidrojen elementlerinden meydana gelmektedir. Ancak, karbon ve hidrojen elementleri, birçok karmaşık molekül yapıları oluşturmaktadır.

Petrol doğada, katı, sıvı veya gaz olarak bulunabilir. Sıvı olan petrol türlerinin kimyasal yapısı incelendiğinde oran olarak %82 – %87 karbon ve yaklaşık %12 – %15 hidrojen içermektedir. Petrolün çok düşük oranlarda azot, fosfor, kükürt ve oksijen de içerdiği bilinmektedir. Karmaşık sayılabilecek bir karışım olan petrolün, fraksiyonlarına ayrıldığında, n-alkanlar (doymuş), aromatik ve asfaltik (polar) hidrokarbonlardan oluştuğu görülmektedir. Doymuş hidrokarbonlar n-alkanları, dallı alkanları ve sikloalkanları içermektedir. n-alkan zincirleri genellikle petrol karışımında kolayca parçalanıp, alkilenebilen kısımlardır. Aromatik hidrokarbonlar aerobik bakteriler vasıtasıyla daha da küçük parçalara ayrılmaktadırlar. Petrol hidrokarbonların ağır grubunu oluşturan asfaltik kısımların küçük parçalara ayrılma işleminin metabolik süreci ise henüz çok az anlaşılmıştır [16]. Petrol dağıtım sektöründe beyaz yakıt, siyah yakıt ve havacılık yakıtı olarak sınıflandırılmaktadır. Beyaz olarak sınıflandırılmış olan ürünler motorlu araçlarda, siyah ürünler ise, sanayi ve ısınma kaynaklı olarak kullanılmaktadır [17].

2.3. Türkiye'de Toprak Kirliliği Mevzuatı

Ülkemizde toprak kirliliği; hava ve su kirliliği ile kıyaslandığında önemi daha sonra anlaşılmıştır, çevre mevzuatı incelendiğinde de toprak kirliliği ile ilgili yönetmelik, tebliğ ve bildirimlerin son 15-20 yılda gerçekleştiği görülmektedir. 10 Aralık 2001 tarihinde Çevre Bakanlığı tarafından "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" yayımlanmış ve 31 Mayıs 2005 tarihinde ise revize edilmiştir. Türkiye'de toprak kirliliği konusunda yayımlanmış ilk yönetmelik olan bu yönetmelik, 8 Haziran 2010 tarihinde yürürlükten kaldırılarak, noktasal bazlı ve risk bazlı toprak ve yeraltı suyu açısından daha kapsamlı olan TKKNKSDY yürürlüğe girmiştir.



Şekil 2. Akaryakıt istasyonları özelinde TKKNKSDY çerçevesinde izlenecek Genel İş Akım Şeması [12].

Faaliyetleri gereği çevre açısından zararlı, zehirli, toksik, kanserojen yüzlerce litre kimyasalları yeraltı veya yer üstü depolama tanklarında depolayan endüstriyel tesislerde ya da petrol ve türevlerini yüzlerce kilometre ileten petrol firmalarının iletim hatlarında bilerek veya bilmeyerek yangın, parlama, patlama, sabotaj gibi kazalar meydana gelebilmektedir. Bunların neticesinde toprak ve yeraltı suyu kirliliği meydana gelmekte ve önlenmesi, rehabilitasyonu aylar süren çevre tahribatları oluşmaktadır. Türkiye’de TKKNKSDY gereğince kapsama dahil edilen 237 sektörde binlerce endüstriyel kuruluş faaliyet göstermektedir ancak kirlenmiş alanlar, toprak ve yeraltı suyu açısından iyileştirilmesi, rehabilitasyonunun yapılması gerekli alan, tesis, kuruluş sayısı henüz istatistiki olarak bilinmemekle birlikte Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri tarafından yapılan denetimler de oldukça sınırlı sayıdadır ve 2015 yılından itibaren uygulanmaya başlanmıştır.

Toprak kirliliği olan veya potansiyel toprak kirliliği şüphesi olan sektör ve tesisleri teşhis etmek için, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından web tabanlı Kirlenmiş Sahalar Bilgi Sistemi oluşturulmuştur.

Bu uygulama sayesinde, çevresel açıdan toprak veya yeraltı suyu etkisi olan tesislerin web tabanlı takip edilmesi sağlanmış, toprak kirlilik şüphesi olan tesisler kayıt altına alınmaya başlanmış, toprak ve yeraltı suyu kirliliği temizleme ve izleme çalışmaları açısından envanter oluşmaya başlanmıştır [12].

TKKNKSDY Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2010 yılında yayımlanmış ve 2015 yılında tüm maddeleri ile birlikte yürürlüğe girmiştir. TKKNKSDY’ye ek olarak yine Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından teknik rehberler ve Kirlenmiş Sahalar Sistemi yayımlanmıştır. Kirlenmiş alanlarda toprak kirliliğinin giderilmesi için hangi aşamaların uygulanması ve temizleme iyileştirme faaliyetlerinin hangi yöntem, teknoloji kullanılarak yapılması gerektiği hususunda bu rehber dokümanların esas alınması gereklidir [12].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Toprak ve Yeraltı Suyu Kirliliğini Noktasal İnceleyen TKKNKSDY’in Kapsamı ve Aşamaları
TKKNKSDY, 42 Madde, 13 Ek, 3 teknik rehberden ve teknik dokümandan oluşmaktadır.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanan Teknik Rehberler ve Kılavuzlar;

- Toprak ve yeraltı suyu açısından kirlenmiş tesislerin incelenmesi için oluşturulan Teknik Rehber (KSETR)
- Toprak ve yeraltı suyu açısından kirlenmiş alanların çevre ve halk sağlığı risklerinin değerlendirildiği teknik rehber (KSTDTR)
- Toprak ve yeraltı suyu açısından kirlenmiş alanların nasıl temizleneceği ve kontaminasyon gideriminin hangi yöntemlerle izleneceğine ilişkin oluşturulan teknik rehber (KSTİR)
- Toprak ve yeraltı suyu açısından kirlenmiş alanların arıtma teknolojilerini içerir İyileştirme Teknolojileri Kılavuzu'dur.

Teknik doküman ise;

-Kirlenmiş Sahalar Yönetim Sistemi Teknik Dokümanı (KSYSTD) olarak isimlendirilmiştir.

İlgili yönetmeliğin 13 adet eki bulunmaktadır. 2 numaralı eki incelendiğinde toprak ve yeraltı suyu kirliliği şüphesi barındıran ilgili tesisin faaliyetine özel, jenerik sektörel parametreler görülmektedir. 237 adet sektörü, binlerce endüstriyel tesisi kapsama dahil eden bu yönetmelik, faaliyet sahiplerine yönetmelik Ek-3'ünde belirtilen Tesisin toprak ve yeraltı suyu açısından incelendiği ön bilgilendirme formunun doldurulmasını zorunlu kılmıştır.

Tesis Ön Bilgi Formu, tesiste mevcut yeraltı depolama tanklarının içerdiği ürünler ve depolama tanklarının yaşları, tesisin çevresindeki toprak ve yeraltı suyu açısından hassas noktalar hakkında bilgi vermektedir.

TKKNKSDY süreçleri incelendiğinde üç aşamadan oluştuğu görülmektedir ve bunlar;

- I. Saha Örneklemesi ve Analizlerinin Değerlendirildiği Birinci Aşama Değerlendirme (BAD)
- II. Saha ve Kirlilik Konsantrasyonunun Belirlenmesi Amaçlı İkinci Aşama Değerlendirme (İAD)
- III. Temizleme Aşaması olarak nitelendirilmiştir.

TKKNKSDY'de açıklanan;

Birinci aşama değerlendirme (BAD): Bu süreçte kirlenme potansiyeli olan bir tesiste, alanda, sahada, toprak ve yeraltı suyu örnekleri alınarak, edinilen bilgi, ilgililerce toplanan veri, laboratuvar ve saha bulgularına göre tesisin takip gerektiren ya da takip gerektirmeyen bir saha olmasına karar verilen aşamadır.

İkinci Aşama Değerlendirme (İAD): Birinci aşama değerlendirme sonucunda eğer ki incelenen tesisin durumu toprak ve yeraltı suyu açısından takip gerektiren saha olarak belirlenmiş ise, o zaman ilgili

tesiste, sahada işletmede saha ve kirlilik karakterizasyonu ve risk analizi değerlendirmeleri yapılır ve alanın temizleme gerektiren kirlenmiş saha mı yoksa takip gerektirmeyen saha mı olduğu kanaatine varılan süreçtir.

TKKNKSDY'de ifade edilmiş olan Temizleme Aşaması süreci ise çevre ve halk sağlığı açısından bilgisayar programları veya TKKNKSDY teknik dokümanlarında belirtilen formülleri kullanarak yapılan risk değerlendirmesi neticesinde çevresel risk düzeyinin belirlenmesi ve iyileştirme çalışmalarının yapılması aşamasıdır [12].

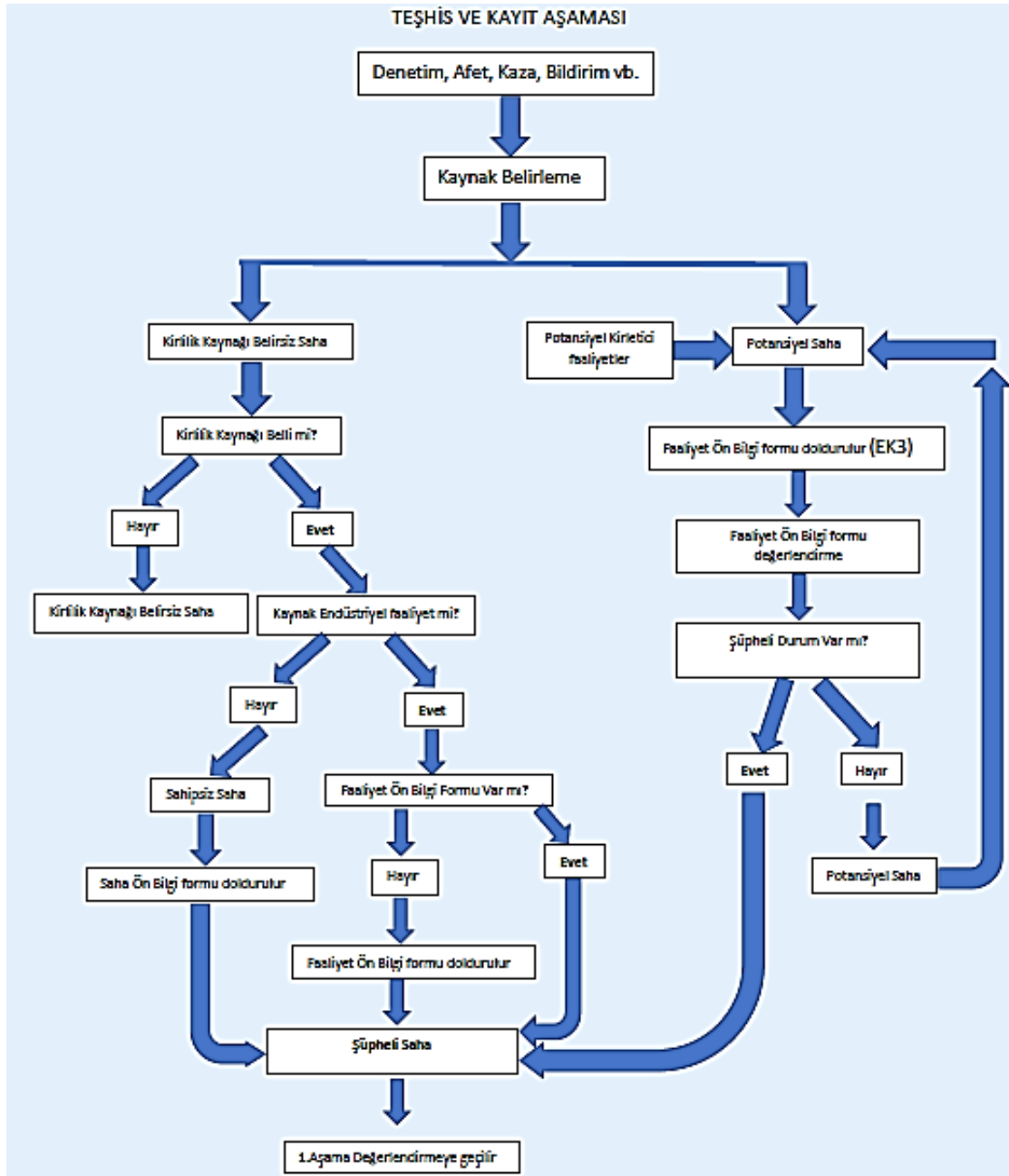
Toprak ve Yeraltı suyu kirliliği şüphesi bulunan bir tesisin yönetimi Kirlenmiş Saha Yönetim Sistemi (KSYS) ile mümkündür. KSYS'nin düzenli ve verimli olarak çalışması ise; Entegre Çevre Bilgi Sistemi'ne faaliyet sahiplerince girilen TKKNKSDY Ek 3 gereği doldurulan Faaliyet Ön Bilgi Formları, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri tarafından yapılan denetlemeler, KSYS'nin düzenli ve aktif olarak Entegre Çevre Bilgi Sistemi'nde envanter oluşturulması ile mümkündür [12].

Toprak ve Yeraltı Suyu kirliliği açısından kirlenme potansiyeli bulunan şüpheli saha; herhangi bir bildirim, kaza, sabotaj, ihbar sonucunda toprak ve veya yeraltı suyu kirliliği olasılığını bulunduran alanı, sahayı nitelendirmektedir.

Toprak ve yeraltı suyu kirliliğine örnek vermek gerekirse, akaryakıt istasyonlarındaki depolama tanklarından döküntü, sızıntı sonucunda yeraltı suyunda koku belirtisi olarak verilebilir [12].

Kirlenmiş sahalarda teşhis ve kayıt sistemi (KSTKS) işleyişini gösteren detaylı akım şeması Şekil 3'te belirtilmiştir. KSTKS süreçleri incelendiğinde; kirlenme potansiyeli bulunan alanlar, sahalarda iki farklı şekilde görülmektedir. Öncelikle toprak ve yeraltı suyu kirletici kaynak belirleme amaçlı çalışma yapılmalıdır. Toprak ve yeraltı suyu kirletici kaynak belirleme amaçlı çalışma ise Faaliyet Ön Bilgi Formu'nun değerlendirilmesi sonucunda yapılmaktadır.

TKKNKSDY kapsamında olan sektörlerdeki tesisler, örneğin akaryakıt istasyonları, yönetmeliğin 3 numaralı eki olan ön bilgi amaçlı soruları içerir form, faaliyet yetkililerince doldurulmaktadır. Toprak ve yeraltı suyu açısından doldurulan bu form, 14 bölümden ve onlarca sorudan oluşan ve doldurulduğunda da tesisin toprak ve yeraltı suyu açısından geçmişte yapılmış olan saha çalışmaları, çevre kazaları, depoladığı tehlikeli kimyasal maddeler, atık su hakkında bilgiler gibi bilgilere ulaşmaktadır. Ayrıca; tehlikeli atık sahalarda, sahanın lokasyonu ve çevresindeki rekreasyon alanları, korunan alanlar, sanayi alanları, hassas alanlar gibi yapılar da belirlenebilmektedir ve haritalarla desteklenmektedir.



Şekil 3. Toprak Kirliliği bulunan alanların tespit ve kayıt süreçlerinin detaylı şeması (KSTKS) [5].

Toprak veya Yeraltı Suyu açısından kontamine olmuş alanların, tesislerin, sahaların değerlendirildiği bölümler; Birinci Aşama Toprak ve Yeraltı Suyu Değerlendirmesi (BAD) ve İkinci Aşama Toprak ve Yeraltı Suyu Değerlendirmesi (İAD) bölümleridir. Toprak kirliliği şüphesi olan bir sahada, birinci aşamada (BAD) yürütülecek sondaj ve toprak, yeraltı suyu analiz çalışmaları ile, tesisin, yönetmelik açısından takip gerektirmeyen veya takip gerektiren bir saha olup olmadığı anlaşılabilir. Tesis, takip gerektirebilecek bir saha olarak nitelendirilir ise, o halde tesise ilişkin toprak, yeraltı suyu etüt çalışmaları zenginleştirilerek, alan karakterizasyonu ve risk değerlendirmesi çalışmaları talep edilerek iyileştirme çalışması olması muhtemel kirlenmiş alan ya da temizleme gerektirmeyen saha olup olmadığının tespit

edilmesi yapılması gereklidir. İkinci Aşama Toprak ve Yeraltı Suyu Değerlendirmesi ise, ilgili tesise, alana özgü jenerik toprak ve yeraltı suyu açısından elde edilen verilerin incelendiği bölümdür. Toprak ve/veya yeraltı suyunun tesisler açısından kirlenici etkilerinin süreçlerinin incelendiği aşamalarına ilişkin detaylı bilgiler aşağıda sunulmuştur.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri yetkililerince bir tesis eğer şüpheli saha olarak nitelendirilmiş ise o sahanın BAD aşaması yapılması gereklidir. Toprak ve Yeraltı Suyu etüdü çalışmaları yapabilecek ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından TKKNKSDY gereğince Yeterlik Belgesi almış olan kuruluşlarca BAD aşaması ilgili sahada yapılır. BAD öncelikli hedefi, şüpheli

sahada örnekleme ve ölçüm çalışmaları yapılmasıdır. Kirlenme potansiyeli bulunan şüpheli sahada Bakanlık yetkilileri tarafından denetleme ve keşif yapılması ve yönetmelikte belirtilen Denetim Formu'nun doldurulması sağlanmalıdır. Tesis denetimi ile şüpheli sahanın, ilgili konumunda, toprak kirliliği şüphesini doğuran hadise, kontaminasyonun nedeni, çevresel açıdan toprağa ve doğaya zarar verici maddeler hakkında bilgilerin toplanması, olası çevresel zarar potansiyellerinin araştırılması gibi hususlar amaçlanmaktadır. Bu sayede, tesis sahasının toprak ve yeraltı suyu kontaminasyonu çerçevesinde değerlendirilmesi amacıyla, doldurulan forma ilave olarak;

- Tesis sahasında sanayi kaynaklı uygulama veya faaliyet varsa; tesis yetkilisi vasıtasıyla önceden doldurularak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü'ne teslim edilmiş olan yönetmelik üçüncü eki olan "Tesis Ön Bilgi Formu",
- Tesis, endüstriyel kaynaklı faaliyetle işgal etmiyorsa veya saha sahipsiz alan ise; Bakanlık yetkili uzmanları aracılığı ile "Saha Ön Bilgi Formu" doldurulacaktır.

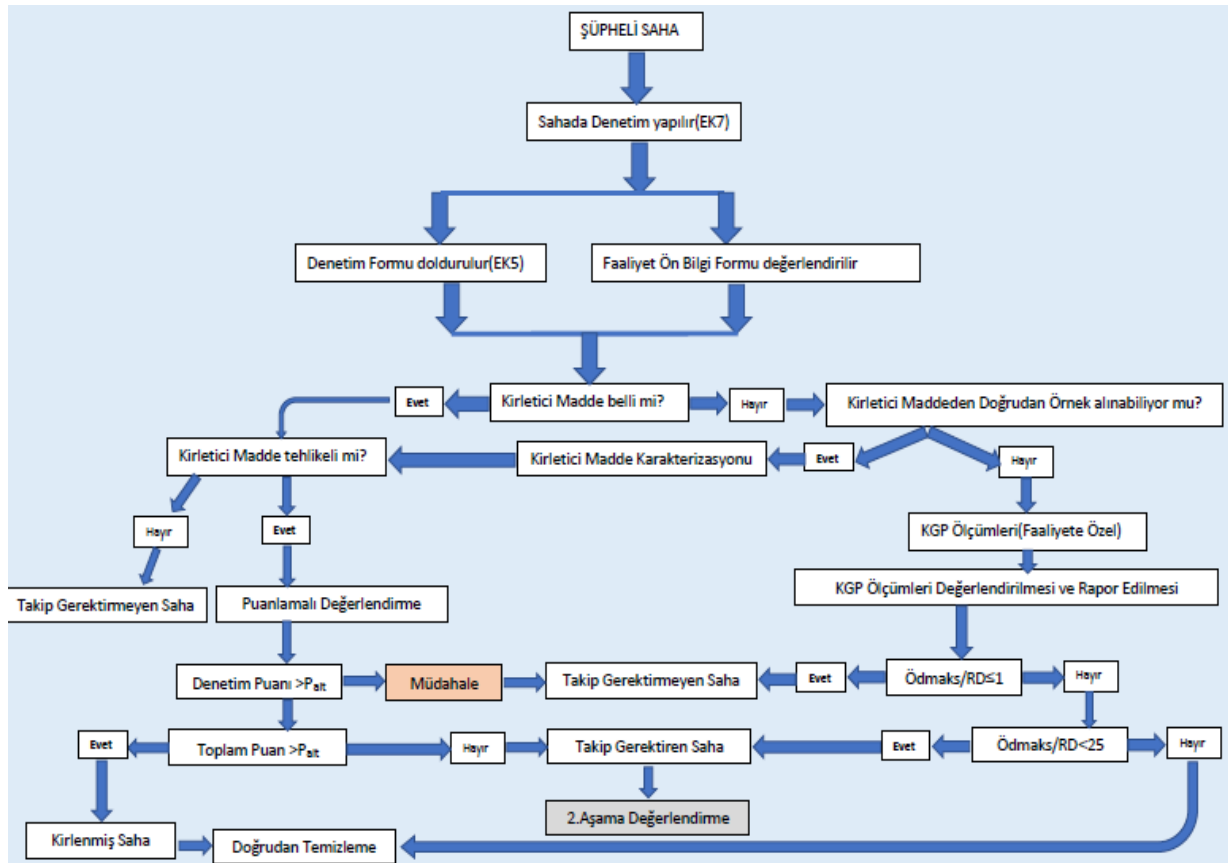
Toprak ve Yeraltı suyu için ilk Süreç olan Birinci Aşama Süreci aşağıdaki sorulara cevap aramak amacı ile yapılmaktadır;

- Tesiste kirlilik şüphesinin mevcudiyetinin olup olmadığının belirlenmesi,

- Tesiste mevcut durumun toprak kirliliği açısından takip gerektiriyor ve temizleme gerekiyor mu veya takip gerektirmiyor mu anlaşılması veya
- Tesiste güncel ve edinilen bilgiler ışığında tesisin temizleme gerektirip gerektirmediği hususlarının aydınlatılmasıdır.

BAD çalışması yapılması ile; toprak ve yeraltı suyu açısından incelenen tesiste aşağıdaki sonuçlardan birine ulaşılması beklenmektedir:

- Tesise ilişkin toprak kirliliği şüphesi bulunmamaktadır. Dolayısıyla ileri toprak ve yeraltı suyu etüdü yapılmasına gerek duyulmamaktadır. Bu aşamada tesis kayıtlarda envanter olarak tutulması yeterli olacaktır.
- Tesise ilişkin belirtilen toprak veya yeraltı suyu kirliliği olasılıkları mevcuttur, ikinci aşama değerlendirme yapılarak çalışma zenginleştirilmelidir.
- Mevcut durum bekletilmeksizin çevre ve halk sağlığı açısından temizleme yapılması zaruridir, tesisin bulunduğu sahada ileri etüt gerekli ise bu tesis toprak ve yeraltı suyu açısından kirliliği bir sahadır ve doğrudan temizleme aşamasına geçmelidir. Şüpheli bir tesisin toprak ve yeraltı suyu açısından incelenmesi ve karar verme sürecini gösteren şema Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Kirlenmiş sahalarda 1. aşama değerlendirme (BAD) ayrıntılı akım şeması [12].

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı yetkililerince potansiyel toprak kirliliği bulunma şüphesi olan bir tesiste talep edilen BAD çalışması, Faaliyet veya Saha Ön Bilgi Formlarının değerlendirilmesi ve tesiste kirliliğin gerçekten mevcut durumda geçerli olup olmadığının nitelendirilmesidir. Toprak kirliliği açısından şüpheli olan bir sahada ilgili kirliliğe sebep olan endüstriyel kirlenici kimyasal ve bunun içeriği biliniyor ise:

- Kirliliğe neden olan kimyasal eğer çevresel açıdan tehlikeli değilse ilgili mevzuat uyarınca önlemler alınmak suretiyle tesis "Takip Gerektirmeyen Alan" olarak nitelendirilir.
- Kirliliğe neden olan kimyasalın tehlikeli olması durumunda ise, tesis ile ilgili toprak ve yeraltı suyu açısından karar vermeyi sağlayacak puanlamalı değerlendirme yaklaşımı vasıtası ile tesis değerlendirilir.
- Tesise ilişkin TKKNKSDY gereği formların değerlendirilmesi için formlarda bulunan sorulara ilişkin cevapların belirli kıstaslara göre puanlandırılması gerekir.

Toprak ve yeraltı suyu kirlenme potansiyeli bulunan bir tesiste puanlama yapılarak değerlendirme yapılması ile üç sonuç ortaya çıkabilir. Bunlar,

- Müdahale edilmesine gerek olmayan saha yani, takip gerektirmeyen saha toprak ve yeraltı suyu açısından temiz olduğu bilinen saha
- Toprak ve Yeraltı suyu açısından takip edilmesi gerekli tesis
- Toprak ve Yeraltı suyu açısından kirlenmiş ve iyileştirme yapılması gerekli tesis

Puanlama sistemine:

Sahada doldurulan Denetim Formundan;

- Toprak kirliliğine ilişkin veriler,
- Toprak ve Yeraltı suyu kirliliğinin temel kaynağı ve kirlenme potansiyeli olan tesis hakkında veriler,
- Kirlenmeye neden olan kimyasallar ve

Faaliyet/Saha Ön Bilgi Formundan ise;

- Tesis, Alan ve komşularına ilişkin genel bilgiler
- Tesis, Alan, Sahanın veya çevresinin yeraltı suyu veya şebeke suyu kullanım durumu hakkında ilgili bilgiler ve
- Sahanın ve çevresinin toprak kirliliği açısından hassas noktalara, yapılara ilişkin bilgiler

kısımlarında yer alan bilgiler belirtilmiştir. Denetim formu ve Faaliyet Ön Bilgi Formunda yer alan her soru için belirli bir "puan", bu sorunun cevabına ilişkin edinilen bilginin önemine göre ise belirli bir "ağırlık katsayısı" nitelendirilmiştir.

TKKNKSDY Ek 8'de ise puanlama sistemindeki bu suallerin puan ve kat sayılarının alt üst puan sınırlarına ilişkin bilgi verilmektedir.

Toprak ve yeraltı suyu kirliliği şüphesi olan bir tesiste değerlendirme web tabanlı uygulama olan Kirlenmiş Alanlar Bilgi Sistemi'nde Bakanlık veya Çevre İl Müdürlükleri yetkilileri vasıtasıyla yapılmaktadır. Web tabanlı Bakanlık Bilgi Sistemine toprak ve yeraltı suyu kirlilik potansiyeli bulunan alanlar, tesisler, işlenmek suretiyle Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından envanter oluşturulacaktır.

Toprak ve/veya yeraltı şüphesi bulunan bir alanda, kirlilik yayılma potansiyeli olan kimyasaldan eğer doğrudan numune alınamıyorsa, bu durumda, ilgili tesise yönelik, sahada toprak ve/veya yeraltı suyu analiz ve ölçüm yapılması, en yüksek ölçüm değerlerinin ve referans değerinin tespit edilmesi gereklidir. Yönetmelik eklerinde toprağı kirlenici faaliyetler ve ilgili faaliyetlere özel parametreler ve bu ilgili parametrelere ilişkin ölçüm yöntemleri sunulmuştur. İnceleme alanında yapılan ve noktasal bazda temiz olduğu düşünülen alandan alınan toprak numunesi referans numune olarak kabul edilir. Sahada karşılaştırma yapılması için toprak/yeraltı suyu örneklerinin analizlerinin ölçülen konsantrasyonları ölçülen değer olarak isimlendirilir ve sahaya yönelik referans değer numune sonuçları ile karşılaştırılır.

TKKNKSDY Ek 2'de detaylıca belirtilen kirlilik gösterge parametrelerinden herhangi biri için ölçülmüş en yüksek derecede konsantrasyon değeri, sahanın etkilenmemiş yerinden alınan referans noktasındaki numune analiz sonuçları ile kıyaslanırlar, böylece referans numune ile sahada belirlenmiş ölçüm noktalarının konsantrasyonlarının kaç katı oranda oldukları belirlenir. Referans noktadan alınan numune sonuçları ile karşılaştırma yapıldığında ortaya çıkan sapma seviyesi, ilgili tesisin, herhangi bir alanında noktasal olarak toprak kirliliği olup olmadığını da belirlemektedir.

Yukarıdaki veriler ışığında; ölçülen değer, referans değer ile kıyaslandığında, sapma seviyesi referans değerden düşük çıkıyor veya referans değere eşit ise, bu tesisin toprak kirliliği açısından temiz olduğunu ve takip gerektirmeyen saha olduğunu göstermektedir. Ancak, sapma seviyesi 1'den fazla ve 25'ten de düşük çıkması durumunda bu durumda saha ikinci aşama toprak ve yeraltı suyu açısından değerlendirmesi gerekli sahadır. Şayet, ölçüm yapılan değer, referans noktadaki edinilen değer 25 katından daha büyükse, bu durumda toprak kirliliğinin tehlikeli olduğu anlaşılır, tesisin doğrudan temizlenmesi gerekli olduğuna kanaat getirilir. Bu aşamada yapılacak çalışma yönetmelik gereğince kirlenmiş tesislerin incelenmesi için oluşturulan teknik rehberde (KSETR) ayrıntılı anlatılmıştır.

İAD'nin öncelikli hedefi, toprak ve yeraltı suyu etüdü çalışma aşamalarından olan birinci aşamada 'takip gerektirir' kararı tanımlanmış tesisin toprak ve yeraltı suyu açısından arıtma, iyileştirmenin zorunlu olarak yapıp yapılmamasının gerekliliğinin anlaşılmasıdır. İAD ayrıntılı olarak tesiste yapılan çevresel sondaj, numune alım ve örnekleme çalışmalarından elde edilen tesise, alana, sahaya yönelik bilgilere ilişkin verilere göre yapılmaktadır. Toprak ve yeraltı suyu açısından temizleme çalışmasının gerekli olup olmadığına ilişkin durumun belirlenmesinde sahaya özgü risk değerlendirme çalışması öncelikli kriter olarak belirlenmiştir. Hem detaylı toprak etüt çalışmaları ve hem de sahaya ilişkin çevresel bilgisayar modelleri de kullanılarak yapılan hesaplamalar ve değerlendirme çalışmaları ileri düzeyde teknik yetkinlik gerektiren aşamaları da içerir çalışmalardır. Bu yüzden ki, ilgili toprak ve yeraltı suyu etütlerinin, ilgili konuda yetkinliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından kanıtlanmış, konuya haiz kurum ve kuruluşlarca yürütülmesi gereklidir. Toprak ve/veya yeraltı suyu kirliliği olan bir tesisin ikinci aşama olarak yapılan tesise yönelik kirlilik karakterizasyonu, üç ana safhadan meydana gelmektedir. Şekil 5'te İAD'nin ayrıntılı akım şeması gösterilmiştir.

Birinci aşama saha çalışması veya ikinci aşama toprak ve yeraltı suyu çevresel saha çalışması yapılan bir sahada "arıtma, iyileştirme yapılması zorunlu olan kirlenmiş saha" olarak belirlenen tesisler için toprak kirliliği açısından temizleme çalışması yürütülmesi zorunludur. İyileştirme sistemi olarak da isimlendirilen bu rehabilitasyon sisteminin temel hedefi, kirlenmiş olan ve iyileştirme gerektiren tesislerin sahalarının nasıl bir metodoloji, yöntem ve kriterler kullanılarak temizleneceği hususlarının belirlenmesidir. Toprak ve yeraltı suyu kirliliğinin temizleme prosesinde yapılması gerekli faaliyetler, bu uygulamaların ne şekilde uygulanacağı, karar alma süreçlerinde şeffaf biçimde belirtilmesi gereklidir. Temizleme prosesini şematik olarak gösteren detaylı akım şeması Şekil 6'da gösterilmiştir. Toprak kirliliği açısından iyileştirme süreci ile ilgili teknik ayrıntılara ilişkin bilgiler, kirlilik gideriminin hangi teknolojik yöntemlerle yapılması gerektiği ve kirlenmiş bir alanın nasıl izlenmesi gerektiği ayrıntılı KSETR'de verilmiştir. İyileştirme yapılması gereken saha üç safha olarak değerlendirilmelidir. Bu süreçler kısaca, kirlilik giderim planlama, arıtma uygulama, eş zamanlı olarak arıtma izleme ve iyileştirmeyi tamamlama, sonlandırma aşamaları olarak bilinmektedir.

3.2. Akaryakıt İstasyonlarının TKKNKSDY Kapsamındaki Önemi

Akaryakıt istasyonları, anlık depoladıkları petrol türevleri sebebiyle TKKNKSDY çerçevesinde Ek 2 Tablo 2: NACE 4730'a göre toprağı ve yeraltı suyunu

kirlenme ihtimali olan maddeler ve bunlara ilişkin göstergeler aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Kontrolsüz yayılması halinde zarar verme potansiyeli olan organik ve inorganik bileşik, teknoloji ve sanayide kullanımının artması ile çevreye yayılması ciddi problemler doğurabilmektedir. Toprak ve yeraltı suyu kirliliği, fabrikaların ve dolayısıyla sanayi kuruluşlarının faaliyetlerinin neticesi olarak bilinmektedir [18]. Toprakta sıklıkla karşılaşılan kirleticiler; petrol içeriğinde de bulunan uçucu hidrokarbon bileşikleri(VOC), Benzen, tolüen, etilen ve ksilenlerden oluşan bileşikler ve çoklu aromatik hidrokarbon bileşikleri olarak sayılabilir [19]. Petrol sektöründeki teknolojilerin ve dolayısıyla petrol kaynaklı sektörün dünyada hızlı yayılması sonucu, akaryakıt depolama ünitelerinden petrolün olası sızması veya petrol iletim hatlarında oluşan dökülmeler, tankerlerin akaryakıt istasyonlarında petrol ürünlerini depolama tanklarına boşaltması gerekirken kaza sonucu sızma veya patlamalar neticesinde oluşan toprak ve yeraltı suyu kirliliği, çevre kirliliğine ve tahribatına neden olmaktadır [20].

TKKNKSDY Kirlenmiş Saha Risk Değerlendirme Etüt Teknik Rehber'ine göre İkinci Aşama Risk Değerlendirme, üç temel bölümden oluşmaktadır:

1. Toprak ve yeraltı suyu açısından tesis ve Kirlilik Karakterizasyonu
2. Toprak ve yeraltı suyu açısından tesis Jenerik Risk Değerlendirmesi
3. Toprak ve yeraltı suyu açısından tesis Sahaya Özgü Risk Değerlendirmesi

Toprak ve yeraltı suyu açısından incelenen tesisin toprak ve yeraltı suyu kirliliği açısından durumu, bilimsel laboratuvar sonuçları ve muhtemel gelecek tesis kullanım senaryoları hazırlanacak teknik raporda (ön ve nihai) belirtilmelidir.

Hem toprak hem de yeraltı suyu açısından değerlendirildiğinde Jenerik ve Sahaya Özgü Risk Değerlendirmesi ise Saha Durum ve Risk Değerlendirmesi Nihai Raporu'nda nitelendirilmelidir.

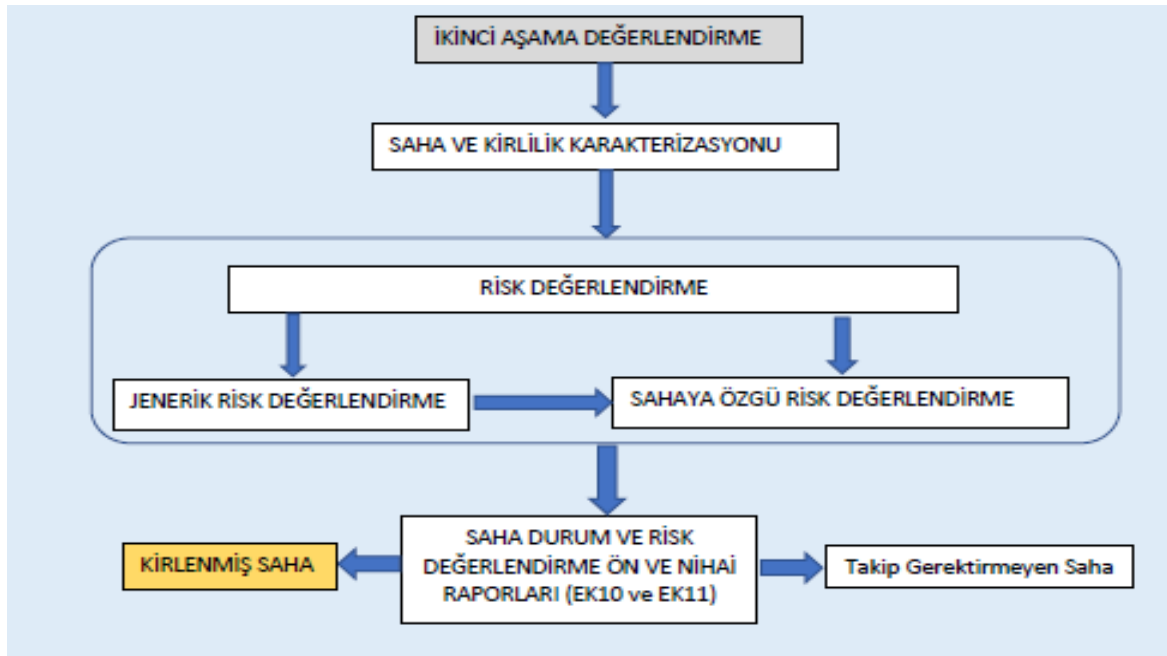
Toprak ve/veya yeraltı suyu kirliliği tespit edilen bir tesis ve ilgili kirlilik giderimi yapılacak sahaya ilişkin hazırlanacak teknik raporlar TKKNKSDY eklerinde ayrıntılı verilmiştir ve bu formatlara uygun, yetkin kuruluşlarca hazırlanmalıdır.

Kirlilik giderimi yapılması planlanan tesisin toprak kirliliği açısından çevresel risk değerlendirme yapılması gereklidir. Toprak kirliliğinin iyileştirmesinin bir aşaması olan risk değerlendirme yapılması için gerekli olan bilgiler:

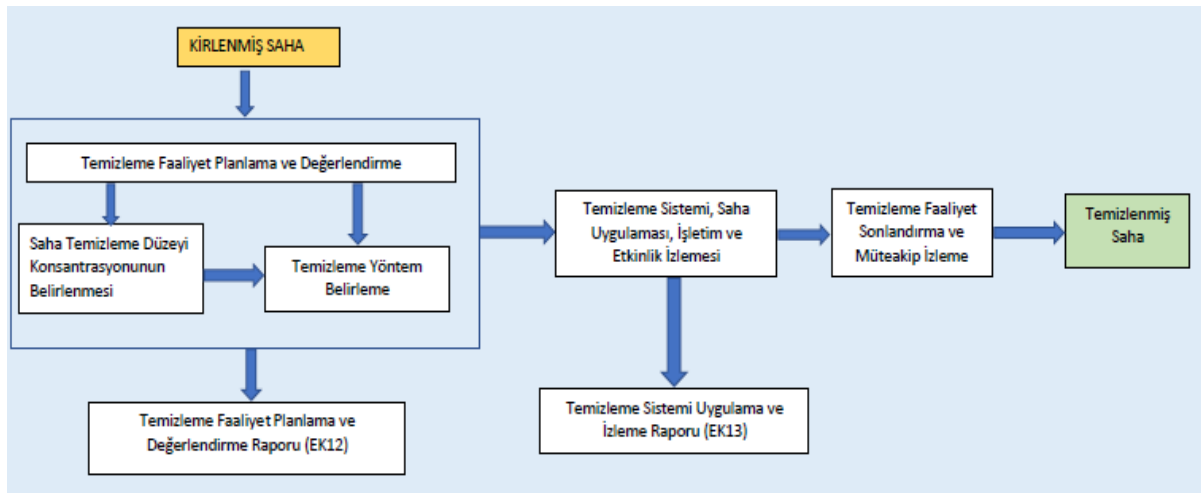
1. Toprak ve Yeraltı Suyu açısından Tesisteki kirleticiler: Tesiste faaliyetleri gereği olması potansiyel tehlikeli kimyasallar, maddelerin

- anlaşılabilmesi için ilk olarak ilgili alanın, tesisin, sahanın geçmiş ve mevcut arazi kullanım hedeflerinin tespit edilmesi gereklidir (yerleşim amaçlı kullanım veya akaryakıt istasyonu amaçlı kullanım, vb). Ayrıca; bilerek veya bilmeyerek bir atığın veya kimyasalın tesiste herhangi bir alana bırakılıp bırakılmadığının ya da vahşi olarak depolanıp depolanmadığının sorgulanması etkili olacaktır. Bu sayede tesisteki kirleticiler belirlenebilecektir. Tesiste belirlenecek olan maddeler, potansiyel kirleticiler olarak isimlendirilir.
2. Tesis, alan ve sahanın, çevresindeki komşularını da alan kullanım hedefleri: İşletmenin ve komşularının çevresinin muhtemel gelecek kullanım senaryoları incelenmeli ve tespit edilmeye çalışılmalıdır.

3. Önemli kirletici kaynaklarındaki ve kontaminasyona uğramış çevresel ortamlardaki kirletici konsantrasyonları: Bu aşamada kirletici kaynağı olarak anlatılmak istenen; kirleticilerin yüzey toprağına, yüzey altı toprağına ya da yeraltı suyuna karışarak ilgili ortama taşıdıkları kaynaktır. Mesela, tesis eğer akaryakıt istasyonu olarak faaliyet gösteriyorsa ve zemininin altında gömülü olarak depolama amaçlı tanklar barındırıyor ve bunlardan herhangi birinin petrol türevi ürünleri toprağına sızdırmak suretiyle iletildiği anlaşılırsa, bu depolama tankı kirletici kaynak kabul edilmelidir. Tesiste belirlenen bu kirletici kaynakları ve kirletici kaynakların kirlettiği çevresel ortamlar, kirleticinin iletildiği çevresel ortamlardaki maruz kalınan kirletici konsantrasyonları teşhis edilmelidir.



Şekil 5. İkinci aşama değerlendirme (İAD) akım şeması [5].



Şekil 6. Kirlenmiş saha temizleme süreci ayrıntılı akım şeması [12].

Tablo 1. TKKNKSDY gereğince Kirlilik Gösterge Parametreleri (KGP) [12].

Örnek NACE Kodu	Örnek Faaliyete Özel KGP (TKKNKSDY Ek 2, Tablo 2)
4730 – benzin ve mazot satışı yapılan akaryakıt istasyonları	Toplam Organik Halojenler Toplam Petrol Hidrokarbonları Toplam Uçucu Hidrokarbonlar* Baryum, Kadmiyum, Bakır, Nikel, Kurşun, Çinko

*Toplam Uçucu Hidrokarbonlar, toprak gazı örneklemelerinde portatif gaz detektörleri vasıtasıyla da tespit edilebilir [12].

3.3. Akaryakıt İstasyonları için TKKNKSDY Süreçleri

TKKNKSDY; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından çıkarılan, toprak kirliliği potansiyeli olan saha ve sektörlerin teşhis edilmesi, envanter oluşturulması, kirliliklerin gideriminin sağlanması açısından yayımlanmış son derece önemli ve teknik bir yönetmeliktir.

TKKNKSDY kapsamında, sektörel tanımlama olarak 4 basamaklı NACE kodları kullanılmaktadır. Türkiye'de Avrupa Birliği giriş ve uyum kapsamında, NACE ile sektörler kolaylıkla anlaşılır olup, TKKNKSDY'de entegre olarak kullanılmaktadır.

TKKNKSDY gereğince 237 adet belirlenmiş sektörde olan işletme sahipleri yönetmelikte belirtilen toprak ve yeraltı suyu açısından işletme, tesis bilgilerini de içerir soruların olduğu formu doldurmakla mükelleftir.

1. İlgili vilayetteki Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü yetkilileri, faaliyet sahibi tarafından doldurulmuş Faaliyet Ön Bilgi Formunu Entegre Çevre Bilgi Sistemi Uygulaması olan Kirlenmiş Sahalar Bilgi Sistemi üzerinden onaylar.
2. İşletme yetkilisinin, TKKNKSDY gereği doldurduğu formu yazılı ve imzalı olarak da ilgili İl Müdürlüğü'ne iletmesi gereklidir.
3. İlgili Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü'nün, işletme yetkilisi tarafından doldurulan formu yazılı ve imzalı olarak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bildirmesi gereklidir.
4. Bakanlık, toprak ve yeraltı suyu ile ilgili formları, İl Müdürlüklerinden ulaşan teknik rapor, bilgi ve bulguları da değerlendirerek, kirlenmiş alanları, Potansiyel Kirlenmiş Sahalar Listesine dahil eder.

Potansiyel toprak ve yeraltı suyu açısından şüpheli tesiste yürütülecek bütün örnek ve laboratuvar analiz çalışmaları planlanarak yürütülür. Böylece, tesiste toprak ve yeraltı suyu açısından değerlendirme amaçlı örnekleme yapılmadan önce faaliyet sahibi Bakanlıkça belirlenen esaslara uyararak, TKKNKSDY gereğince toprak yeterlilik belgesi almış olan firmalara planı (SÖAP) hazırlatır. SÖAP; İlgili Valilik oluru ile

hazırlanan Kirlenmiş Saha Değerlendirme ve İzleme Komisyonu tarafından değerlendirilerek onaylanır ve toprak, yeraltı suyu amaçlı örnekleme çalışması toprak yeterlilik belgesi almış kuruluşlarca yapılır.

Toprak ve yeraltı suyu açısından kirlilik şüphesi bulunan bir tesiste toprak ve yeraltı suyu açısından, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü tarafından tesiste, ilgili lokasyonda yerinde denetim yapılır ve denetim sırasında TKKNKSDY Ek 7'de verilen Denetim Formu doldurulur.

1. Kirlilik giderimi yapılması gerekli olan sahada eğer çoklu kirlilik kaynağı mevcutsa, her bir kirlilik kaynağı için ayrı bir denetim formu düzenlenmesi gereklidir. Birinci aşama tesis toprak değerlendirmesi neticesinde, tesis eğer takip gerektiren alan olarak tanımlanan saha ise bu durumda; Birinci aşama tesis toprak değerlendirme çerçevesinde ilgili inceleme alanına ilişkin tesis durum toprak değerlendirme raporları ön ve nihai rapor olmak üzere hazırlanır.
2. TKKNKSDY'de hazırlanacak olan raporların formatları belirtilmiştir ve bu kapsamda ve formatta yetkin kuruluşlar vasıtasıyla hazırlanır. Yeterlilik sahibi kuruluşlar vasıtasıyla hazırlanan raporlar, birinci aşama değerlendirme sonucunda veya ikinci aşama toprak ve yeraltı suyu saha çalışmaları neticesinde sonrasında temizlenmesi gereken kirlenmiş saha olarak tanımlanan saha için temizleme faaliyeti başlatılır. Temizleme ve iyileştirme faaliyeti için değerlendirme, izleme, uygulama raporları hazırlanır.

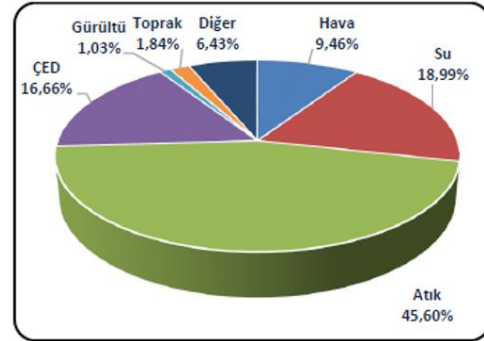
Ülkemizde Kirlenmiş toprakların ve yeraltı sularının iyileştirilmesi konusundaki araştırmaların yetersiz olduğu bilinmektedir. Son yıllarda özellikle akaryakıt istasyonlarıyla sınırlı olmasına rağmen yapılan çalışmalar ile birlikte potansiyel kirliliği muhtemel akaryakıt istasyonlarının tespitine yönelik çalışmalar Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü tarafından oluşturulan komisyonlarda kayıt altına alınmaya başlanmıştır. Türkiye'de kirliliği alanlar ile ilgili geniş çaplı bir envanter çalışması bulunmamaktadır.

TKKNKSDY gereğince sektörel bazlı kirletici maddeler belirlenmiştir. Ancak, bu kirletici maddelerin güncellenmesi gerekmektedir. Örneğin perakende satış yapan Akaryakıt İstasyonları özelinde TKKNKSDY değerlendirildiğinde ilgili kirletici madde listesi TKKNKSDY Ek 2’de belirlenmiştir. Bunlar toplam petrol hidrokarbonları, toplam organik halojenler, benzen, tolüen, etil benzen, ksilen, toplam uçucu hidrokarbonlar, baryum, kadmiyum, bakır, nikel, kurşun ve çinko olarak belirlenmiştir ancak 1980’li yıllarda ülkemizde benzin istasyonlarının depolarında benzin için ilave katkı olarak metil tersiyer bütül eter (MTBE) kullanıldığı bilinmektedir [21]. MTBE, hem ağız ve burun vasıtasıyla solunum, hem de suya karışması ya da deriye temas etmesi sebebiyle vücuda girerek tahribata yol açabilir. MTBE’yi solumak suretiyle vücudumuza almamız halinde kana doğrudan karışarak insan bünyesine hasar verebilir. MTBE’nin organlarda birikme yapma özelliği bulunmamaktadır. MTBE, benzine katıldığında hava kirliliğini önleyeceği düşünülerek geçmişte katkı maddesi olarak kullanılmıştır ancak hem yüzey hem de yeraltı su alanlarında ciddi tahribatlara yol açtığı bilinmektedir. Akaryakıt tesislerinden, benzin depolama tanklarındaki çatlak ve sızıntılardan içme suyu, göl ve akarsularda MTBE varlığı tespit edilmiştir [22]. 1980’lerden itibaren öncelikli olarak pek çok ülkenin su kaynaklarında MTBE kirliliği tespit edilmiştir, Amerika da MTBE kirliliği teşhis edilen bu ülkelerin başında yer almaktadır [23]. Türkiye’de de geçmişte MTBE kullanımı olduğu bilinmektedir.

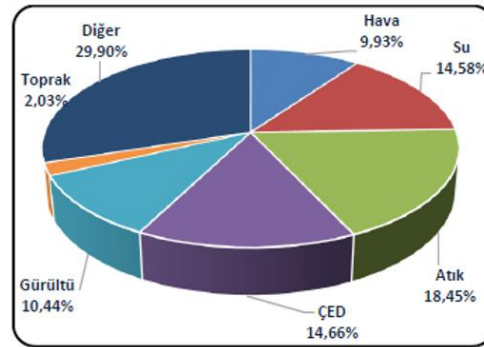
2021 yılında Türkiye’de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 289 adet denetim yapılmıştır. İl Müdürlüklerince yapılan denetim sayısı da 2021 yılı için 56.733 olarak görülmektedir. Genel toplama bakıldığında ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüklerince 57.022 adet çevre denetimi yapılmış olup yetkililer tarafından kesilen toplam idari para cezası miktarı 350.115.092,34 TL’dir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca uygulanan bu ceza toplamı 25.837.497,81 TL, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüklerince kesilen ceza miktarı ise 324.277.594,53 TL’dir. 2021 yılında, yetkililerce 406 tesis için çevre mevzuatına uyulmadığı gerekçesiyle, faaliyet durdurma kararı alınmıştır, bunlardan 26 tanesi Bakanlık 386 tanesi ise taşra teşkilatı tarafından denetlenmiştir. 2021 yılında gerçekleştirilen çevre denetimlerinin konularına göre dağılım oranları Şekil 7 ve Şekil 8.’de verilmektedir [24].

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı yetkilileri tarafından uygulanan idari yaptırım ceza miktarlarının 2021 yılında yüzdelik dağılımına bakıldığında “toprak kirliliği” tüm kesilen cezaların %1,84’ünü oluşturduğu görülmektedir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından “toprak kirliliği” konusunda uygulanan idari yaptırımların, çevre cezalarının sadece %2,03’ünü oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 7. 2021 yılında Çevre konularına göre gerçekleştirilen idari ceza oranları [24].



Şekil 8. 2021 yılında, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı yetkililerince uygulanan idari yaptırım sayısının konularına göre yüzdelik (%) dağılımı [24].

Türkiye’de kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi konusunda kamuoyu tarafından bilinen toprak kirliliği olayları büyük çoğunlukla yasadışı bertaraf alan kaynaklanmaktadır. Türkiye’de endüstrileşme, hızlı şehirleşme, çevre kazaları, arazinin kötü kullanımı gibi sebeplerle özellikle sanayi yoğunluğunun yüksek olduğu Marmara Bölgesi’nde binlerce hektar verimli toprağın kirlendiği bilinmektedir [25]. Avrupa ülkelerinde de durum benzerlik göstermektedir [26]. Örneğin Batı Avrupa’daki kontamine olmuş alanların sayısı 400.000 civarındadır ve ayrıca Orta ve doğu Avrupa ülkelerinde birçok kirlenmiş alan bulunmaktadır [27].

Avrupa Birliği ülkelerinin önümüzdeki 20-30 yıl içinde kirlenmiş sahaların iyileştirilmesi için 400 milyar dolardan fazla harcaması gerektiği öngörülmektedir [25]. Avrupa’da ülkeden ülkeye farklılık göstermesine rağmen toprak kirliliğinin %14’ünü petrol sektörü oluşturmaktadır. Bununla birlikte bağlantılı diğer endüstriyel faaliyetler de göz önünde bulundurulursa Avrupa’nın kirli topraklarının %60’ından fazlasından petrol sektörü sorumludur. Toprak kirleticiler arasında en zararlı ve yaygın

kirleticiler ağır metaller (%37) ve mineral yağlardır (%33) [25].

Türkiye’de 2015 yılından itibaren bütün maddeleri ile birlikte yürürlükte olan yönetmelik olan TKKNKSDY gereği akaryakıt istasyonları özelinde belirli kirleticileri belirlemiştir ancak komşu tesislerden oluşabilecek kirliliğin tespitini içermediği görülmektedir. Örneğin TKKNKSDY’ye yer almayıp ancak canlı ve çevre sağlığı için bazı parametrelerin eklenmesi uygun olacaktır. Ayrıca oluşturulacak komisyonlara Üniversitelerin daha etkin katılımının sağlanması, Entegre Çevre Bilgi Sisteminin daha etkin kullanımı faydalı olacaktır.

Toprak ve yeraltı suyu kirliliği çerçevesinde incelendiğinde, endüstriyel tesislerde, örneğin akaryakıt istasyonlarında mevcut bulunan yeraltı depolama tankları yaşları, depoladıkları kimyasallar, tanklardan veya iletim hatlarından kaynaklı koruma önlemlerinin alınmaması sebebiyle petrol türevi maddelerin, yani yakıtların sızdırılması sebebiyle ciddi problemler doğurabilecek çevre hasarı oluşturmaktadır. Türkiye’de 2012 yılında “Akaryakıt İstasyonları ve Emniyet Gereklere Tebliği”, “ Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı” tarafından yayımlanmıştır ve sektörde uygulanmaktadır. İlgili tebliğe göre akaryakıt istasyonları Türk Standartları Enstitüsü (TSE) 12820 Akaryakıt istasyonları - Emniyet Gereklere Standardında belirtilen ilgili yükümlülükler uygun hareket etmek zorundadır. İlgili standart gereği akaryakıt tanklarının tek kaplama, yani tek cidar olan tanklar için sızdırmazlık süresi 3 yıl, çift cidar olanlar için ise sızdırmazlık muayene süresi 15 yıl olduğu bilinmektedir, ancak tanklarda sızıntı olup olmadığını anlamaya yönelik sistem bulunmaması nedeniyle çift cidarlı tanklar için de sızdırmazlık muayene periyodu 5 yıl olarak belirtilmiştir. Yeraltı tanklarının sızdırmazlık muayeneleri, yer altı akaryakıt tanklarında sızdırmazlık testi konusunda uzman muayene kurumları tarafından yürütülmektedir.

IV. SONUÇ

Türkiye’de toprak ve yeraltı suyu kirliliği için yürürlükte olan yönetmelik kapsamında bakanlık yetkililerinin özellikle Marmara Bölgesi’nde son yıllarda akaryakıt istasyonlarındaki denetimlerini arttırdığı rakamsal verilerle gözlenmektedir. Ancak 2021 yılında, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından idari cezai yaptırımların konulara göre yüzdelik dağılımına bakıldığında “Toprak” konusunun %2,03 ile en düşük yüzdeliğe sahip olduğu ve yeterli olmadığı görülmektedir.

Akaryakıt istasyonları TKKNKSDY gereğince incelendiğinde ise belirtilen NACE koduna göre akaryakıt istasyonlarında kirleticiler belirlemiştir, ancak komşu tesislerden oluşabilecek kirliliğin tespitine yönelik tüm kirleticileri içermediği

anlaşılmıştır. 1980’li yıllarda araç yakıtlarına katkı olarak kullanılan MTBE’nin geçmişte yeraltı tanklarından toprağa olası sızması sebebiyle çevre tahribatı meydana gelebilir. Yeraltı su kaynaklarına MTBE karışması durumunda da yayılma özelliği mevcuttur. Akaryakıt istasyonları özelinde TKKNKSDY gereğince bahsedildiği üzere toprak numunelerinden toplam organik halojenler, toplam petrol hidrokarbonları, toplam uçucu hidrokarbonlar, baryum, kadmiyum, bakır, nikel, kurşun, çinko parametreleri değerlendirilmektedir ancak TKKNKSDY’ye MTBE parametresinin eklenmesi çevre ve halk sağlığı açısından kirliliğin tespiti ve giderimi açısından uygun olacaktır. Ayrıca oluşturulacak komisyonlara Üniversitelerin daha etkin katılımının sağlanması, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın çevrimiçi portalı olan Entegre Çevre Bilgi Sisteminin “Kirlenmiş Sahalar Bilgi Sistemi” uygulaması daha etkin kullanımı fayda sağlayacaktır.

Kirlenmiş olan bir alanda uygulanacak teknoloji ve kirlilik giderimi süresi, hangi kirletici madde tarafından ne kadar kirlendiği, kirletici maddenin türü, sahanın jeolojisi, toprak karakteristiği ve yeraltı suyunun seviyesi ve akış yönü gibi pek çok değişkene bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kirlenmiş sahaların rehabilitasyonu yapılarak toprakların uygulanabilir teknolojiler kullanılarak iyileştirilmesi ülkemiz toprakları açısından oldukça önem taşımaktadır. Dolayısıyla; toprak ve yeraltı suyu kirlilik gideriminin her aşamasında uygun kirlenmiş saha, temizleme/iyileştirme kılavuzlarından yararlanmak hem teşhis hem de kirliliğin giderimi için çok yararlı olacaktır.

Akaryakıt istasyonları kurulum aşamasında, dağıtım firması/bayi değişikliğinde, TKKNKSDY gereğince toprak ve yeraltı suyu etüdü çalışmasının ilgili çevre ve diğer mevzuatlar uyarınca zorunlu hale getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca temizleme/iyileştirme yapılan akaryakıt istasyonlarında da süreç takibi yapılmalıdır.

Bunun dışında toprağa ve yeraltı suyuna yayılma potansiyeli olan, zehirli kimyasallar barındıran kalıcı organik kirleticiler de mevcuttur ve Türkiye 2010 yılında “Kalıcı Organik Kirleticilere (KOK)” sözleşmesine taraf olmuştur, bu aynı zamanda Stockholm Sözleşmesi olarak da bilinmektedir. Sözleşme gereksinimleri doğrultusunda, kalıcı organik kirleticilerin salınımlarının azaltılması, mümkünse ortadan kaldırılmasına ilişkin önlemlerin alınması Türkiye’nin yerine getirmesi yükümlülükleri arasında olduğundan toprak kirliliği çalışmalarında KOK ile ilgili mevcudiyetin de kapsayıcı olarak TKKNKSDY’ye eklenmesi gereklidir. Böylece toprak ve yeraltı suyu kirlilik ve envanter çalışmalarında, KOK Projesini de kapsayacak şekilde kalıcı organik kirleticilerin de varlığının araştırılması ve değerlendirilmesi bütünlük ve entegre bir yaklaşım olacaktır. Bunun için Entegre Çevre Bilgi

Sistemi'nin bir uygulaması olan Kirlenmiş Sahalar Bilgi Sistemi daha etkin kullanılmalıdır. Bu sisteme kalıcı organik kirleticilerin teşhis edilerek izlenmesi opsiyonu da eklenirse Entegre Çevre Bilgi Sistemi daha verimli hale gelebilecektir.

Ayrıca, Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığınca 11. Kalkınma Planında belirttiği üzere iklim değişikliği, şehirleşme sebebiyle giderek önemi artan toprak ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı, çevrenin ve biyolojik çeşitliliğin korunması önem kazanmaktadır. Türkiye'de binlerce aktif akaryakıt istasyonu olduğu bilindiğinden, toprak ve yeraltı suyu kirliliği açısından başta akaryakıt depoları barındıran petrol sektöründe olmak üzere, kimyasal tesislerde, organize sanayi bölgelerinde denetimler sıklaştırılmalıdır. TKKNKSDY'deki 237 sektördeki paydaşların da katılımıyla toprak ve yeraltı suyu etütleri yapılarak, şehirselleştirme bazlı kirlilik haritalarının oluşturularak uygun giderim metodlarını da kapsayacak şekilde Ulusal ve bölgesel düzeyde eylem planları ortaya konmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Güler, C. (2006). Petrol türevleri tarafından kirlenmiş akiferlerde uygulanan yerinde iyileştirme teknolojileri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 30(2), 33 – 50.
- [2] Çoban, O., Şahbaz Kılınç, N. ve Kılınç, E. C. (2017). Sanayi Sektöründe Petrol Talebinin Fiyat ve Gelir Esneklikleri: OECD Ülkeleri Örneği . *Bilgi , Avrasya'nın Siyasal İktisadi Özel Sayısı*, 259-279 .
- [3] Hız, Ö. (2015) Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Kapsamında Petrol Kirliliğinin Tespiti ve Giderimi İçin Uygun Yöntem Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- [4] TMMOB Çevre Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/533511f3b63da8a_ek.pdf?tipi=78&turu=H&sube=2 , (Erişim Tarihi (22.4.2022).
- [5] National Research Council. (1985). *Oil in the Sea: Inputs, Fates, and Effects*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/314>.
- [6] Peterson, C. H., Rice, S. D., Short, J. W., Esler, D., Bodkin, J. L., Ballachey, B. E. ve Irons, D. B. (2003). Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. *Science*, 302(5653), 2082-2086.
- [7] Kerr, R.A. (2010). Gulf Oil Spill. A lot of oil on the loose, not so much to be found. *Science*, 2010 Aug 13; 329(5993):734-5. DOI: 10.1126/science.329.5993.734.
- [8] Ünlü, S. ve Alpar, B. (2006). Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey). *Chemosphere*, 64(5), 764-777.
- [9] Temeltaş, S. (2006). Ham Petrol Bulaşmasının Toprağın Mikrobiyal Biyokütle Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [10] <https://www.botas.gov.tr/uploads/dosyaYonetici/305323-botas-19.01.2022-tarihli-2.basin-ac%CC%A7iklamasi.pdf> (Erişim Tarihi: 22.4.2022).
- [11] Kara, H. (2015). Diyarbakır İli Petrol Üretim Sahalarının Çevre Sularına Olası Etkisi ve Elektrokoagülasyon Yöntemi Kullanılarak Artırılabilirliğinin Araştırılması
- [12] Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, 27605 sayılı Resmi Gazete, Haziran 8, 2010
- [13] Gülçin, K. (2015). Türkiye'de Petrol Endüstrisi ve Finansal Yatırım Kararları, Niğde Üniversitesi.
- [14] Tüysüz, O. (1998). *Petrol Jeolojisi Kitabı*, İTÜ, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü.
- [15] Uysal, A. (2006). Ham Petrol Fraksiyonlarının Biyolojik Bozunma Sonrası Fizikokimyasal Özelliklerinin Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- [16] Jussila, M.M., Kaksonen, A.H., Lindström, K. ve Suominen, L. (2006). Rhizosphere effect of *Galega orientalis* in oil-contaminated soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 38, 817-827.
- [17] Şire, Y. (2006). Akaryakıt İstasyonlarının Çok Kriterli Verimlilik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [18] Sabate, J., Vinas, M. ve Solanas, A. M. (2004) Laboratory-scale bioremediation experiments on hydrocarboncontaminated soils. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54, 19-25
- [19] Reible, D. ve Demnerova, K. (2002). Innovative approaches to the on-site assessment and remediation of contaminated sites. *Springer Science & Business Media*, Vol. 15
- [20] Adeniyi, A.A. ve Afolabi, J.A. (2002). Determination of Total Petroleum Hydrocarbons and Heavy Metals in Soils within the Vicinity of Facilities Handling Refined Petroleum Products in Lagos Metropolis. *Environment International*, 28, 79-82. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00007-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00007-7)
- [21] Solmaz S., Üstün G.E. ve Morsümbül T. (2009). Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 14, Sayı 2, 2009
- [22] Davidson, J. M. ve Creek D. N. (2000). Using the Gasoline additive MTBE in Forensic Environmental Investigations. *Environmental Forensics*, V. 1, 31-36.
- [23] Barcelo, D. ve Petrovic M. (2005). Seeking solution to problems caused by MTBE

- contamination. Analytical Chemistry, Vol. 24, No. 4, 275-277
- [24] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Denetimi İstatistikleri: 2021 Haber Bülteni 19 / 04 / 2022 Saat: 15:00 Sayı: 7
<https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/cevre-denetimi--8230-59463-20220419150246.pdf> (Erişim Tarihi: 24.4.2022).
- [25] Dağhan, H., Öztürk, M., Hakeem, K. R., Sabir, M. ve Mermut, A. R. (2015). Soil pollution in Turkey and remediation methods. Soil remediation and plants: prospects and challenges, 287-312.
- [26] Flathman, P.E. ve Lanza, G.R. (1998). Phytoremediation: Current view on an emerging green technology.
- [27] Soil Contam., 7(4), 415-432.
- [28] Glass, D., 1999a. <http://www.dglassassociates.com/INFO/phy99exc.htm>. (Erişim Tarihi: 22.4.2022).

Türkiye’de 2017-2020 Yılları Arasında Yaşanan İş Kazaları ve Yaralanma Olaylarının İllere Göre Değerlendirilmesi

Enquiry into Work Accidents and Injuries between 2017-2020 by the Cities in Turkey

Tufan ÖZTÜRK¹ 

¹ İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, 34510, İstanbul, Türkiye

Öz

Türkiye’de iş kazaları nedeniyle işçiler ölüyor veya engelli kalıyor. Bu durum devleti ve toplumu çok boyutlu şekilde olumsuz etkiliyor. Bu nedenle iş kazalarının yapısının araştırılması ve önlenmesi gerekiyor. Bu çalışmada Türkiye’de 2017-2020 yılları arasında meydana gelmiş iş kazaları ve sonrasındaki yaralanma durumları iller bakımından araştırılmıştır. Bu çalışmada iki farklı yöntem kullanılmıştır. İlk yöntemde, iş kazası geçirmiş kazazede sayısı ve 5 günden daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayısına göre iller kümelendirilmiştir. İkinci yöntemde ise 100.000 istihdam başına düşen kazazede sayısı ve 100.000 istihdam başına düşen yaralanmalarda 5 günden daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayısına göre iller tekrar kümelendirilmiştir. Bu iki farklı teknikte yapılan kümeleme işleminde 81 ilin 4 farklı kümeye ayrıldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Türkiye il bazlı harita sistemine işlenerek yüksek riskli iller koyu renkli, düşük riskli iller açık renkli olarak işaretlenmiştir. Bu kapsamda; Zonguldak ile Bilecik başta olmak üzere Kocaeli, Manisa, Tekirdağ, Karaman, Yalova ve Karabük illerinde iş kazası ve yaralanmaların yoğun şekilde meydana geldiği belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları değerlendirilerek akademisyenlere, sosyal politika yetkililerine bazı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı ve Güvenliği, İstatistiksel Analiz ve Uygulamalar, Kümeleme Analizi

Abstract

Workers either die or become handicapped due to work accidents in Turkey. This situation has multidimensional negative effects on the state and society. Therefore, these work accidents must be researched and prevented. This study investigated the work accidents and following injury status between 2017-2020 in Turkey according to different cities. In this study, two different methods were used. In the first method, cities are clustered according to the number of employees who have had an accident at work and the number of employees who have been treated for more than 5 days. In the second method, cities were clustered this time according to the number of work accidents per 100,000 employees and the number of those treated for more than 5 days per 100,000 employees. The classification with two different techniques revealed 4 different classes of 81 cities. The obtained results are marked on a city-based map system of Turkey and high risk is marked with dark color while the low risk is marked with light color. Accordingly, it is found that there are intense work-related accidents and injuries in Kocaeli, Manisa, Tekirdağ, Karaman, Yalova, Karabük cities and especially in Zonguldak and Bilecik cities. The results of the study are evaluated and certain recommendations are provided to the academicians and social policy officers.

Keywords: Occupational Health and Safety, Statistical Analysis and Practices, Cluster Analysis

I. GİRİŞ

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) iş kazası geçiren işçinin bir yıl içindeki ölümünü iş veya işyeri nedenli olarak tanımlamaktadır [1]. Dünya genelinde her yıl 350.000’den fazla işçinin iş veya işyeri kaynaklı nedenlerle öldüğü tahmin edilmektedir [2–5]. Türkiye’de ise her yıl yaklaşık 1500-2000 işçi iş veya işyeri kaynaklı nedenlerle ölmektedir [6]. Bu da Türkiye’de günlük ortalama 5-6 işçinin, iş veya işyeri kaynaklı nedenlerle öldüğünü göstermektedir. İş kazaları ve sonrasında ortaya çıkan zararlı sonuçları belirlemek ve engellemek bir zorunluluk haline almıştır. İş kazaları ve sonrasında ortaya çıkan zararlı sonuçları belirlemek ve engellemek adına son dönemde Türkiye’de akademik çalışma sayısı da artmıştır. Bu çalışmaların önemli bir kısmında istihdam, iş kazası sayısı, kazazede sayısı, yaralı sayısı, ölen sayısı, sektör, işyeri, il, çalışanın demografik özellikleri gibi veriler sıklıkla kullanılmıştır [7–12].

İş kazaları ve sonrasında ortaya çıkan zararlı sonuçları belirlemek ve engellemek adına yapılan araştırmaların bir kısmında verilerin ham haliyle kullanıldığı görülmektedir. Verilerin ham haliyle kullanılması durumunda istihdamın fazla olduğu grupların iş kazası sayısı, kazazede sayısı, yaralı sayısı, ölen sayısı da haliyle yüksek hesaplanmaktadır. Bu nedenle, diğer sektörlerle göre daha fazla istihdam sağlayan inşaat ve metal sektöründe; diğer yaş gruplarına göre daha fazla istihdamın yaygın olduğu 35-45 yaş aralığında; kadınlara göre istihdamın

daha fazla olduğu erkeklerde; diğer mevsimlere göre istihdamın fazla olduğu ilkbahar ve yaz mevsiminde iş kazası, kazazede sayısı, yaralı sayısı ve ölen sayısının daha fazla olduğu ortaya konmaktadır. İş kazası, kazazede sayısı, yaralı sayısı ve ölen sayısı il bazında değerlendirildiğinde ise fazla nüfusa ve fazla istihdama sahip İstanbul, Ankara, İzmir gibi illerin ilk sıralarda yer aldığı görülmektedir. Bu sonuçlar doğru olmakla birlikte toplumun bu konudaki algısının, bilimsel araştırmaların ve sosyal politika kontrol sisteminin genellikle bu büyük illerdeki işletmeler üzerinde yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Bu ise istihdamı yüksek olmayan ancak istihdama göre iş kazası, kazazede sayısı, yaralı sayısı ve ölen sayısı oranı yüksek olan bazı illerdeki işletmelerin iş güvenliği faaliyetlerinin dikkatten kaçmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle il veya benzeri gruplar iş kazası, kazazede sayısı, yaralı sayısı veya ölen sayısı bakımından değerlendirilirken 100.000 istihdamda görülen durumun veya benzeri bir oransal durumun kullanımı büyük önem taşımaktadır [13–15].

Bu çalışmada, ilk olarak 2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarında meydana gelmiş iş kazaları ve bu iş kazalarında yaralanmış 5 gün ve daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayılarına göre iller risk bakımından gruplandırılmış; sonrasında, aynı yıllara ait ancak 100.000 istihdam başına düşen iş kazaları ve 100.000 istihdamda 5 gün ve daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayılarına göre iller risk bakımından tekrar gruplandırılmıştır. Bu iki farklı yöntemle elde edilen sonuçlar Türkiye il bazlı harita sisteminde gösterilerek birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu şekilde; istihdama ve istihdam oranına göre iş kazası ve sonrasında yaralanma durumlarının riskli olduğu illerin tek bir çalışmada ortaya konması ve alınması gereken önlemler adına akademisyenlere, sosyal politika yetkililerine önerilerde bulunulması amaçlanmıştır. Çalışmanın, bu yönüyle alana katkıda bulunacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak kaza ve yaralanma oranları yüksek şehirlerin belirlenmesi, konunun sosyal politika bakımından yorumlanması ve sosyal politika yetkililerinin dikkatinin bu bölgelere yönlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bunun sağlanması ile yoğun iş kazası ve yaralanma riski ile karşı karşıya olabilecek il ve bu illerde çalışanların durumlarının daha belirgin hale gelebileceği ve bu sayede ilgili illerdeki denetleme ve proaktif önlemlerin gerekliliğinin ortaya çıkacağı değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; Türkiye'deki 81 il iki farklı yöntemle kümelere ayrılmıştır. Birinci yöntemde kümeleme işlemi, iş kazası geçirmiş kazazede sayısı ile iş

kazalarında yaralanarak 5 gün ve daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayıları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. İkinci yöntemde ise 100.000 istihdam başına düşen kazazede sayısı ve 100.000 istihdamda 5 gün ve daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayısına göre kümeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu işlemlerdeki tüm analizler için SPSS programı ve Microsoft Excel haritalama grafik yöntemi kullanılmıştır.

2.1. Verilerin Kaynağı ve Derlenmesi

Araştırmanın ana küntlesini Türkiye'deki 81 ilde 2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarında istihdam edilmiş, 5510 Sayılı Kanununun 4-1/a maddesi kapsamındaki sigortalılar oluşturmaktadır. Araştırmada kullanılan veriler Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) İstatistik Yıllıklarından elde edilmiştir. 2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarına ait istihdam, iş kazası geçirmiş kazazede sayısı ile iş kazalarında yaralanarak 5 gün ve daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayılarının öncelikle ortalamaları hesaplanmıştır. Sonrasında, iş kazası geçirmiş kazazede sayısı ile iş kazalarında yaralanarak 5 gün ve daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayılarının 100.000 istihdam içindeki oranları hesaplanmış ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'in ilk satırında görüldüğü gibi bazı kısaltmalar yapılmıştır. Bu bakımdan tüm çalışma boyunca yazı sadeliği için 2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarına ait; istihdam ortalaması istihdam olarak, kazazede sayıları ortalaması kazazede sayısı olarak ve 5 gün ve daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayıları ortalaması ciddi yaralı kazazede sayısı olarak ifade edilmiştir. Benzer şekilde, 100.000 istihdamdaki kazazede sayısı, istihdama göre kazazede oranı (İKO), 100.000 istihdamdaki 5 gün ve daha fazla tedavi gerektiren kazazede sayısı, istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) olarak ifade edilmiştir.

III. ÇALIŞMANIN KISITLARI

SGK İstatistik Yıllıklarından elde edilen veriler içinde kayıt dışı istihdam rakamları bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışma, SGK tarafından kayıt altına alınabilmiş resmi veriler üzerinden yürütülebilmektedir. Ayrıca; istihdama göre kazazede ve ciddi yaralı kazazede oranları ile iş kazası sonrası oluşan ölüm oranları arasında bir korelasyon ilişkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle illerin sınıflandırılmasındaki analizlere iş kazası sonrası ölüm oranı dâhil edilememiştir. Çalışmanın sonuçları bakımından en önemli kısıtlar bu şekildedir.

Tablo 1. İl bazında istihdam ve kazazede bilgilerinin 2017-2018-2019-2020 yıllarına ait ortalamaları

İl Trafik Kodu	İl	İstihdam Ortalaması (İstihdam)	Kazazede Sayıları Ortalaması (Kazazede Sayısı)	5 Gün ve Daha Fazla Tedavi Gerektiren Kazazede Sayıları Ortalaması (Ciddi Yaralı Kazazede Sayısı)	100.000 İstihdamda Kazazede Sayısı Ortalaması (İstihdama Göre Kazazede Oranı (İKO))	100.000 İstihdamda 5 Gün ve Daha Fazla Tedavi Gerektiren Kazazede Sayısı Ortalaması (İstihdama göre Ciddi Yaralı Kazazede Oranı (İCYKO))
01	Adana	364.603,00	6.310,50	1.495,75	1.730,79	410,24
02	Adıyaman	69.708,75	557,75	121,00	800,11	173,58
03	Afyonkarahisar	110.312,50	1.247,75	340,75	1.131,10	308,90
04	Ağrı	36.150,50	121,75	27,25	336,79	75,38
05	Amasya	49.479,75	833,00	302,00	1.683,52	610,35
06	Ankara	1.388.756,75	27.775,50	6.173,25	2.000,03	444,52
07	Antalya	530.619,25	16.929,00	2.618,50	3.190,42	493,48
08	Artvin	30.212,25	892,00	124,50	2.952,44	412,08
09	Aydın	177.562,50	4.249,25	1.250,50	2.393,10	704,26
10	Balıkesir	206.035,75	4.030,25	1.063,00	1.956,09	515,93
11	Bilecik	51.931,50	3.585,75	1.193,50	6.904,77	2.298,22
12	Bingöl	31.688,50	362,75	74,50	1.144,74	235,10
13	Bitlis	33.532,00	122,50	24,25	365,32	72,32
14	Bolu	66.273,25	2.548,75	551,25	3.845,82	831,78
15	Burdur	40.948,25	691,00	206,25	1.687,50	503,68
16	Bursa	762.762,75	22.369,00	6.526,25	2.932,63	855,61
17	Çanakkale	98.609,25	2.226,25	598,50	2.257,65	606,94
18	Çankırı	30.516,75	509,00	112,25	1.667,94	367,83
19	Çorum	74.604,00	1.323,00	385,00	1.773,36	516,06
20	Denizli	221.552,25	6.746,75	2.118,25	3.045,22	956,10
21	Diyarbakır	184.440,00	1.709,75	441,25	927,00	239,24
22	Edirne	67.721,25	1.108,75	245,50	1.637,23	362,52
23	Elazığ	86.266,25	1.046,25	269,50	1.212,81	312,40
24	Erzincan	34.866,25	372,50	90,25	1.068,37	258,85
25	Erzurum	93.958,50	1.199,75	211,00	1.276,89	224,57
26	Eskişehir	190.512,25	6.985,50	2.036,25	3.666,69	1.068,83
27	Gaziantep	343.665,50	5.702,25	1.826,50	1.659,24	531,48
28	Giresun	67.210,75	932,50	188,25	1.387,43	280,09
29	Gümüşhane	17.426,25	232,75	52,00	1.335,63	298,40
30	Hakkâri	29.945,50	148,75	29,25	496,74	97,68
31	Hatay	209.140,75	2.245,75	761,00	1.073,80	363,87
32	Isparta	75.882,50	982,00	248,75	1.294,11	327,81
33	Mersin	299.932,00	3.728,25	1.339,25	1.243,03	446,52
34	İstanbul	4.496.539,00	103.269,25	19.777,25	2.296,64	439,83
35	İzmir	999.318,50	34.188,00	8.912,75	3.421,13	891,88

36	Kars	27.760,50	220,25	47,50	793,39	171,11
37	Kastamonu	57.101,75	889,75	191,25	1.558,18	334,93
38	Kayseri	252.292,00	9.849,50	2.768,75	3.904,01	1.097,44
39	Kırklareli	75.147,75	2.083,25	728,50	2.772,21	969,42
40	Kırşehir	31.324,75	990,00	286,00	3.160,44	913,02
41	Kocaeli	560.886,75	25.351,00	8.488,00	4.519,81	1.513,32
42	Konya	360.092,50	7.610,25	1.904,25	2.113,42	528,82
43	Kütahya	98.141,75	3.504,50	763,25	3.570,86	777,70
44	Malatya	124.293,50	1.771,25	469,50	1.425,05	377,73
45	Manisa	285.071,50	13.856,50	4.768,00	4.860,71	1.672,56
46	Kahramanmaraş	170.836,50	2.236,25	544,25	1.309,00	318,58
47	Mardin	96.625,00	490,50	85,75	507,63	88,75
48	Muğla	207.205,75	6.355,00	1.567,50	3.067,00	756,49
49	Muş	35.002,25	244,75	46,50	699,24	132,85
50	Nevşehir	49.066,25	639,25	174,75	1.302,83	356,15
51	Niğde	45.403,25	696,75	172,00	1.534,58	378,83
52	Ordu	106.619,75	1.313,50	296,00	1.231,95	277,62
53	Rize	61.394,25	779,25	150,50	1.269,26	245,14
54	Sakarya	212.231,50	7.405,50	2.067,00	3.489,35	973,94
55	Samsun	201.756,50	3.204,50	789,50	1.588,30	391,31
56	Siirt	36.331,25	290,50	74,75	799,59	205,75
57	Sinop	29.900,75	230,00	58,75	769,21	196,48
58	Sivas	87.380,50	1.559,50	300,25	1.784,72	343,61
59	Tekirdağ	294.473,25	11.979,25	3.548,75	4.068,03	1.205,12
60	Tokat	74.067,75	931,25	187,75	1.257,29	253,48
61	Trabzon	139.387,75	1.604,25	400,75	1.150,93	287,51
62	Tunceli	9.358,00	69,00	20,50	737,34	219,06
63	Şanlıurfa	175.770,50	708,25	131,50	402,94	74,81
64	Uşak	74.739,25	2.234,25	614,25	2.989,39	821,86
65	Van	108.852,25	527,75	157,00	484,83	144,23
66	Yozgat	48.902,25	927,50	189,25	1.896,64	387,00
67	Zonguldak	102.668,25	5.113,25	2.204,50	4.980,36	2.147,21
68	Aksaray	59.978,25	1.225,75	290,00	2.043,66	483,51
69	Bayburt	10.193,50	72,25	18,75	708,79	183,94
70	Karaman	46.648,25	3.141,50	602,00	6.734,44	1.290,51
71	Kırıkkale	42.299,75	700,25	214,50	1.655,45	507,10
72	Batman	78.096,00	485,00	98,25	621,03	125,81
73	Şırnak	56.574,75	318,00	53,25	562,09	94,12
74	Bartın	33.916,50	982,75	355,25	2.897,56	1.047,43
75	Ardahan	12.746,00	144,50	39,25	1.133,69	307,94
76	Iğdır	19.962,50	66,50	16,25	333,12	81,40
77	Yalova	64.693,50	3.360,50	859,00	5.194,49	1.327,80
78	Karabük	43.099,75	1.862,50	728,50	4.321,37	1.690,27
79	Kilis	19.811,50	113,50	25,75	572,90	129,98
80	Osmaniye	66.250,50	1.331,25	405,50	2.009,42	612,07
81	Düzce	80.952,50	2.586,00	750,50	3.194,47	927,09
TOPLAM		16.447.993,50	399.340,00	100.388,75	165.777,03	44.907,09

IV. KÜMELEME ANALİZİ

Birimleri belirli özellikler bakımından karşılaştırarak; gruplara ayırma işlemi kümeleme işlemi olarak isimlendirilmektedir. Bu işlem sonunda grupların kendi içinde homojen, diğer gruplarla heterojen bir yapıya kavuşturulması istenir [16–19]. Birimlerin kaç gruba ayrılacağı belirlenmesinde; alanda yapılmış önceki çalışmalardan, hiyerarşik kümeleme yöntemi ile elde edilebilecek dendogram grafiğinden yararlanılabilir [20,21]. Bu çalışmada öncelikle hiyerarşik kümeleme yöntemi kullanılmış ve dendogram grafikleri elde edilmiştir. Dendogram grafikleri incelendiğinde illerin 4, 5 veya 6 kümeye ayrışabileceği değerlendirilmiştir. Bu aşamadan sonra k-ortalamar kümeleme yönteminin kullanımına geçilmiştir. k-ortalamar kümeleme işlemi 4, 5 ve 6 küme sayılarının her birine göre ayrı ayrı denenmiştir. Bu denemeler sonrasında illerin istatistiksel bakımdan $p < 0.05$ anlamlılık düzeyinde 4 kümeye ayrıldığı görülmüştür. Bu kümeleme işlemlerinde; alan yazında sıklıkla kullanılan ve kabul görmüş Ward's Algoritması, Öklid Uzaklık Yaklaşımı ve Z Skorlama yöntemleri tercih edilmiştir [20–23].

V. UYGULAMA

Tablo 1 de verilen sütun değerleri cebirsel anlamda birbirinden oldukça farklıdır. Bu nedenle tüm verilere Z Skorlama işlemi uygulanmış ve çalışma boyunca tüm işlemler bu Z skor değerleri üzerinden yürütülmüştür.

5.1. Kazazede Sayısı ve Ciddi Yaralı Kazazede Sayısı Bakımından İllerin Kümelenmesi

Kümeleme işlemine geçilmeden önce, kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı değişkenleri arasında korelasyon analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde; kazazede sayısı ile ciddi yaralı kazazede sayısı arasında pozitif yönlü güçlü ve istatistiksel bakımdan anlamlı bir korelasyon ilişkisi olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Bu korelasyon ilişkisinin varlığı, illerin bu iki değişken bakımından kümeler ayrılabilmesinin ön bilgisini vermektedir [24]. Kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından 81 il, k-ortalamar kümeleme yöntemi ile kümelendi ve oluşan 4 kümeye ait merkezler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3'teki küme merkez değerlerine göre, kümelerin risk durumları ile adları belirlenmiş ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 incelendiğinde en yüksek riskli kümenin 3, yüksek riskli kümenin 1, düşük riskli kümenin 2 ve en düşük riskli kümenin 4 olduğu görülmektedir. Kümelerin birbirlerine benzerliklerinin belirlenmesi için küme merkezleri arasındaki mesafeler hesaplanmış ve sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde birinci kümeye en benzer kümenin ikinci küme, ikinci kümeye en benzer kümenin dördüncü küme, üçüncü kümeye en benzer kümenin birinci küme ve dördüncü kümeye en benzer kümenin ikinci küme olduğu görülmektedir. Dört kümenin istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde birbirinden ayrışıp ayrışmadığının belirlenmesi için varyans analizi yapılmış ve sonucu Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde, dört farklı kümenin istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde birbirinden ayrıştığı görülmektedir ($p < 0.05$). Her bir kümede bulunan il sayısı belirlenmiş ve Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7 incelendiğinde en yüksek riskli kümede 1, yüksek riskli kümede 4, düşük riskli kümede 12 ve en düşük riskli kümede 64 ilin bulunduğu görülmektedir. Her bir ilin yer aldığı küme grupları belirlenerek Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8'in daha net görselleştirilebilmesi için kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından iller en yüksek risk en koyu, en düşük risk en açık renk olacak şekilde Türkiye Haritası üzerinde gösterilmiş ve Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 8 ve Şekil 1 incelendiğinde İstanbul'un en yüksek riskli kümede (3) yer aldığı; Ankara, Bursa, İzmir ve Kocaeli'nin yüksek riskli kümede (1) yer aldığı, Adana, Antalya, Denizli, Eskişehir, Gaziantep, Kayseri, Konya, Manisa, Muğla, Sakarya, Tekirdağ ve Zonguldak'ın düşük riskli kümede (2) yer aldığı; diğer 64 ilin ise en düşük riskli kümede (4) yer aldığı görülmektedir.

5.2 İstihdama Göre Kazazede Oranı (İKO) ve İstihdama Göre Ciddi Yaralı Kazazede Oranı (İCYKO) Bakımından İllerin Kümelenmesi

Kümeleme işlemine geçilmeden önce, istihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) değişkenleri arasında korelasyon analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9 incelendiğinde; İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) arasında pozitif yönlü güçlü ve istatistiksel bakımdan anlamlı bir korelasyon ilişkisi olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Bu korelasyon ilişkisinin varlığı, illerin bu iki değişken bakımından kümeler ayrılabilmesinin ön bilgisini vermektedir [24].

İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) bakımından 81 il k-ortalamar kümeleme yöntemi ile kümelendi ve oluşan 4 kümeye ait merkezler Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 2. Kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı korelasyon analizi

		Kazazede Sayısı	Ciddi Yaralı Kazazede Sayısı
Kazazede Sayısı	Korelasyon Katsayısı	1,000	,989
	Anlamlılık (p)		0,000
Ciddi Yaralı Kazazede Sayısı	Korelasyon Katsayısı	,989	1,000
	Anlamlılık (p)	0,000	

Tablo 3. Kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından küme merkezleri

	Kümeler			
	1	2	3	4
Kazazede Sayısı	1,76	0,30	7,71	-0,29
Ciddi Yaralı Kazazede Sayısı	2,31	0,43	6,81	-0,33

Tablo 4. Kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından küme adları

Küme Numarası	Küme Adı
3	En Yüksek Riskli
1	Yüksek Riskli
2	Düşük Riskli
4	En Düşük Riskli

Tablo 5. Kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından sonuç küme merkezleri arasındaki mesafeler

Kümeler	1	2	3	4
1		2,38	7,46	3,34
2	2,38		9,78	0,96
3	7,46	9,78		10,72
4	3,34	0,96	10,72	

Tablo 6. Kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından kümelerin varyans analizi

	Küme		Hata		F	Anlamlılık (p)
	Ortalama Kare	SD.	Ortalama Kare	SD.		
Kazazede Sayısı	26,05	3,00	0,02	77,00	1079,14	0,00
Ciddi Yaralı Kazazede Sayısı	25,68	3,00	0,04	77,00	666,21	0,00

Tablo 7. Kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından kümedeki illerin sayısı

Küme Adı	Kümedeki İl Sayısı
1 (Yüksek Riskli)	4
2 (Düşük Riskli)	12
3 (En Yüksek Riskli)	1
4 (En Düşük Riskli)	64
Toplam	81

Tablo 8. Kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından kümeleme sonuçları

Küme	İller				
1	Ankara	Bursa	İzmir	Kocaeli	
2	Adana	Antalya	Denizli	Eskişehir	Gaziantep
	Kayseri	Konya	Manisa	Muğla	Sakarya
	Tekirdağ	Zonguldak			
3	İstanbul				
4	Adıyaman	Afyonkarahisar	Ağrı	Amasya	Artvin
	Aydın	Balıkesir	Bilecik	Bingöl	Bitlis
	Bolu	Burdur	Çanakkale	Çankırı	Çorum
	Diyarbakır	Edirne	Elazığ	Erzincan	Erzurum
	Giresun	Gümüşhane	Hakkâri	Hatay	Isparta
	Mersin	Kars	Kastamonu	Kırklareli	Kırşehir
	Kütahya	Malatya	Kahramanmaraş	Mardin	Muş
	Nevşehir	Niğde	Ordu	Rize	Samsun
	Siirt	Sinop	Sivas	Tokat	Trabzon
	Tunceli	Şanlıurfa	Uşak	Van	Yozgat
	Aksaray	Bayburt	Karaman	Kırıkkale	Batman
	Şırnak	Bartın	Ardahan	Iğdır	Yalova
	Karabük	Kilis	Osmaniye	Düzce	

**Şekil 1.** Kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından illerin risk haritası**Tablo 9.** İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) korelasyon analizi

		İstihdama Göre Kazazede Oranı (İKO)	İstihdama Göre Ciddi Yaralı Kazazede Oranı (İCYKO)
İstihdama Göre Kazazede Oranı (İKO)	Korelasyon Katsayısı	1,000	,960
	Anlamlılık (p)		0,000
İstihdama Göre Ciddi Yaralı Kazazede Oranı (İCYKO)	Korelasyon Katsayısı	,960	1,000
	Anlamlılık (p)	0,000	

Tablo 10. İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) bakımından küme merkezleri

	Küme			
	1	2	3	4
İstihdama göre kazazede oranı (İKO)	0,77	2,02	2,72	-0,57
İstihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO)	0,61	1,92	3,59	-0,54

Tablo 10'da ki küme merkez değerlerine göre, kümelerin risk durumları ile adları belirlenmiş ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11 incelendiğinde en yüksek riskli kümenin 3, yüksek riskli kümenin 2, düşük riskli kümenin 1 ve en düşük riskli kümenin 4 olduğu görülmektedir. Kümelerin birbirlerine benzerliklerinin belirlenmesi için küme merkezleri arasındaki mesafeler hesaplanmış ve sonuçları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12 incelendiğinde birinci kümeye en benzer kümenin ikinci küme, ikinci kümeye en benzer kümenin üçüncü küme, üçüncü kümeye en benzer kümenin ikinci küme ve dördüncü kümeye en benzer kümenin birinci küme olduğu görülmektedir. Dört kümenin istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde birbirinden ayrışıp ayrışmadığının belirlenmesi için varyans analizi yapılmış ve sonucu Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13 incelendiğinde dört farklı kümenin istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde birbirinden ayrıştığı görülmektedir ($p < 0.05$). Her bir kümede

bulunan il sayısı belirlenmiş ve Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14 incelendiğinde en yüksek riskli kümede 2, yüksek riskli kümede 6, düşük riskli kümede 18 ve en düşük riskli kümede 55 ilin bulunduğu görülmektedir. Her bir ilin yer aldığı küme grupları belirlenerek Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15'in daha net görselleştirilebilmesi için istihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) bakımından iller en yüksek risk en koyu, en düşük risk en açık renk olacak şekilde Türkiye Haritası üzerinde gösterilmiş ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 15 ve Şekil 2 incelendiğinde Bilecik ve Zonguldak'ın en yüksek riskli kümede (3) yer aldığı; Kocaeli, Manisa, Tekirdağ, Karaman, Yalova ve Karabük'ün yüksek riskli kümede (2) yer aldığı, Antalya, Artvin, Aydın, Bolu, Bursa, Çanakkale, Denizli, Eskişehir, İzmir, Kayseri, Kırklareli, Kırşehir, Kütahya, Muğla, Sakarya, Uşak, Bartın ve Düzce'nin düşük riskli kümede (1) yer aldığı; diğer 55 ilin ise en düşük riskli kümede (4) yer aldığı görülmektedir.

Tablo 11. İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) bakımından küme adları

Küme Numarası	Küme Adı
3	En Yüksek Riskli
2	Yüksek Riskli
1	Düşük Riskli
4	En Düşük Riskli

Tablo 12. İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) bakımından sonuç küme merkezleri arasındaki mesafeler

Kümeler	1	2	3	4
1		1,81	3,55	1,77
2	1,81		1,80	3,58
3	3,55	1,80		5,28
4	1,77	3,58	5,28	

Tablo 13. İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) bakımından kümelerin varyans analizi

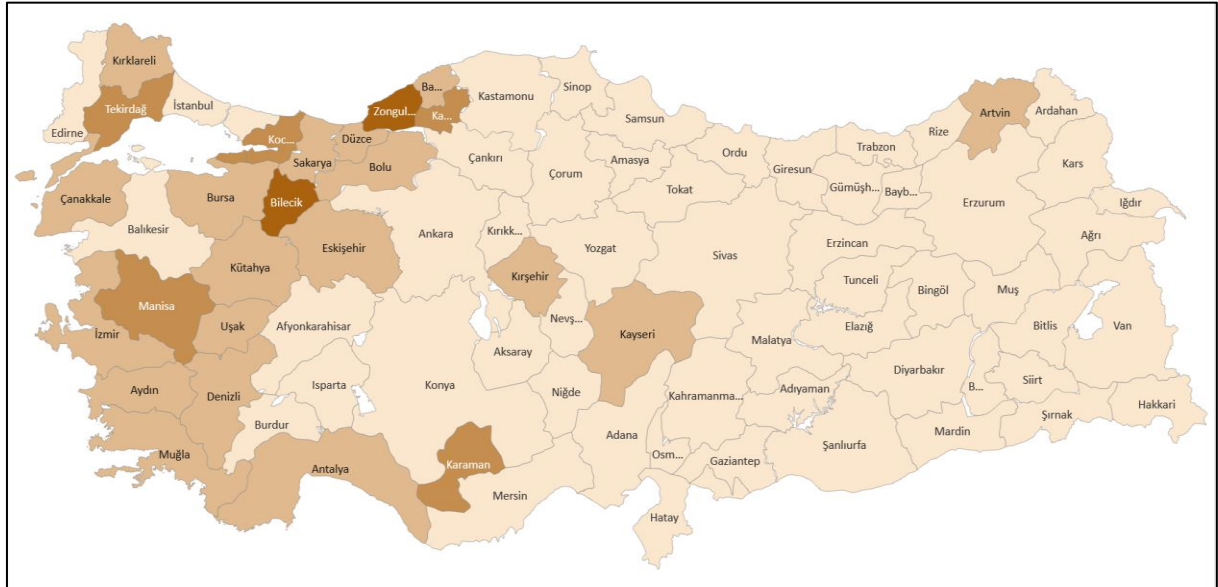
	Küme		Hata		F	Anlamlılık (p)
	Ortalama Kare	SD.	Ortalama Kare	SD.		
İstihdama göre kazazede oranı (İKO)	22,67	3,00	0,16	77,00	145,66	0,00
İstihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO)	23,58	3,00	0,12	77,00	196,31	0,00

Tablo 14. İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) bakımından kümedeki illerin sayısı

Küme Adı	Kümedeki İl Sayısı
1 (Düşük Riskli)	18
2 (Yüksek Riskli)	6
3 (En Yüksek Riskli)	2
4 (En Düşük Riskli)	55
Toplam	81

Tablo 15. İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) bakımından kümeleme sonuçları

Küme	İller
1	Antalya, Artvin, Aydın, Bolu, Bursa
	Çanakkale, Denizli, Eskişehir, İzmir, Kayseri
	Kırklareli, Kırşehir, Kütahya, Muğla, Sakarya
	Uşak, Bartın, Düzce
2	Kocaeli, Manisa, Tekirdağ, Karaman, Yalova
	Karabük
3	Bilecik, Zonguldak
4	Adana, Adıyaman, Afyonkarahisar, Ağrı, Amasya
	Ankara, Balıkesir, Bingöl, Bitlis, Burdur
	Çankırı, Çorum, Diyarbakır, Edirne, Elazığ
	Erzincan, Erzurum, Gaziantep, Giresun, Gümüşhane
	Hakkâri, Hatay, Isparta, Mersin, İstanbul
	Kars, Kastamonu, Konya, Malatya, Kahramanmaraş
	Mardin, Muş, Nevşehir, Niğde, Ordu
	Rize, Samsun, Siirt, Sinop, Sivas
	Tokat, Trabzon, Tunceli, Şanlıurfa, Van
	Yozgat, Aksaray, Bayburt, Kırıkkale, Batman
	Şırnak, Ardahan, Iğdır, Kilis, Osmaniye

**Şekil 2.** İstihdama göre kazazede oranı (İKO) ve istihdama göre ciddi yaralı kazazede oranı (İCYKO) bakımından illerin risk haritası

VI. BULGULAR VE TARTIŞMA

İller kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından kümelenildiğinde istihdamın en yüksek olduğu İstanbul, beklendiği gibi en riskli il olarak belirlenmiştir. Ancak iller 100.000 istihdam üzerinden iş kazaları ve yaralanma durumları bakımından kümelenildiğinde İstanbul ilinin en düşük riskli iller arasında yer aldığı ve en yüksek riskli illerin Bilecik ve Zonguldak olduğu görülmüştür. Bu sonuçtan Zonguldak ve Bilecik'te diğer illere göre daha yoğun sayıda ve şiddette iş kazası meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle başta Zonguldak olmak üzere bu iki ilde faaliyet yürüten iş kollarındaki iş güvenliği uygulamalarının yetersiz olduğu değerlendirilmektedir. Bu illerdeki iş kollarında iş güvenliği bakımından acil düzenleyici proaktif tedbirlerin alınması, denetleme faaliyetlerinin nitelik ve niceliklerinin artırılması önerilmektedir. Zonguldak'taki bu iş kazası ile yaralı yoğunluğunun yaygın maden ve çelik işletmelerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Benzer şekilde Bilecik'teki iş kazası ve yaralı yoğunluğunun taş ve maden ocakçılığı ile kimyasal işletmelerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Zonguldak ve Bilecik illerindeki bu yüksek risk durumunu açıklamaya çalışan az sayıda da olsa akademik çalışmanın varlığı ile sonuçları, konunun önemini ve bu çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir [14,15,25-27].

İller kazazede sayısı ve ciddi yaralı kazazede sayısı bakımından kümelenildiğinde İstanbul'u istihdam bakımından takip eden Ankara, Bursa, İzmir ve Kocaeli'nin yüksek riskli iller olduğu belirlenmiştir. Ancak iller 100.000 istihdam üzerinden iş kazaları ve yaralanma durumları bakımından kümelenildiğinde Kocaeli, Manisa, Tekirdağ, Karaman, Yalova ve Karabük'ün yüksek riskli iller olduğu görülmüştür. Her iki yöntemde de Kocaeli'nin yüksek riskli kümede yer almasından dolayı başta Kocaeli olmak üzere Manisa, Tekirdağ, Karaman, Yalova ve Karabük illerinde faaliyet yürüten iş kollarındaki iş güvenliği uygulamalarının yetersiz olduğu değerlendirilmektedir. Bu illerdeki iş kollarında iş güvenliği bakımından acil düzenleyici proaktif tedbirlerin alınması, denetleme faaliyetlerinin nitelik ve niceliklerinin artırılması önerilmektedir.

İller 100.000 istihdam üzerinden iş kazaları ve yaralanma durumları bakımından kümelenildiğinde Ankara ilinin İstanbul ile benzer özellikler gösterdiği ve bu güne kadar kamuoyunda oluşmuş yaygın algının tersine düşük riskli grupta yer aldığı belirlenmiştir.

VII. SONUÇ

Sonuç olarak şehirlerin risk seviyelerine göre kümelenmesinde verilerin ham haliyle kullanılmasının bir yanlışlığı oluşturduğu ve istihdamın yüksek olduğu illerin risk seviyesinin daha yüksek belirlendiği ve istihdamın daha düşük olduğu illerin bu bakımdan gerçek risk durumunun belirlenemediği değerlendirilmiştir. Benzer konularda faaliyet yürüten

araştırmacılara, istihdamdaki oranlar üzerinden analiz ve karşılaştırmalarını yapmaları tavsiye edilmektedir. Ayrıca bu çalışmayı ilerletmek isteyen araştırmacıların yüksek riskli olarak belirlediğimiz illerde riskin yükselmesini etkileyen faktörleri ve bu riskleri düşürücü önlemleri belirlemeleri önerilmektedir. Sosyal politika kurum ve yetkililerine ise; risk seviyesi yüksek olan illerdeki faaliyet kollarında düzenleyici proaktif tedbirlerin alınması amacıyla, denetleme faaliyetlerinin nitelik ve niceliklerini artırmaları önerilmektedir. Bu önleyici faaliyetlerin iş kazaları ve iş kazaları sonrasındaki yaralanmaları azaltacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca iş kazası ve sonrasındaki yaralanma durumunun azalmasının Sosyal Politika yapısını çok boyutlu yönlerden güçlendireceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] ILO. (2021). Uluslararası Çalışma Örgütü.
- [2] Hämäläinen, P. (2009). The effect of globalization on occupational accidents. *Safety Science*, 47(6), 733-742. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.01.011>
- [3] Hämäläinen, P., Leena Saarela, K., ve Takala, J. (2009). Global trend according to estimated number of occupational accidents and fatal work-related diseases at region and country level. *Journal of Safety Research*, 40(2), 125-139. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2008.12.010>
- [4] Probst, T. M., Petitta, L., ve Barbaranelli, C. (2017). Comparing recall vs. recognition measures of accident under-reporting: A two-country examination. *Accident Analysis ve Prevention*, 106, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.05.006>
- [5] Takala, J. (1999). Global Estimates of Fatal Occupational Accidents. *Epidemiology*, 10(5), 640-646.
- [6] Ceylan, H. (2021). Türkiye'de meydana gelen ölümlü iş kazaları. *İSG Akademik*, 3(1), 1-13.
- [7] Arıtan, A. E., ve Ataman, M. (2017). Kaza oranları hesaplamalarıyla iş kazası analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 239-246.
- [8] Avcı, M. (2018). İş güvenliği uzmanının iş kazalarına etkileri: Marmara bölgesi örneği [Yüksek Lisans Tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] Cerev, G., ve Yıldırım, S. (2018). Çalışanların Kişisel Özelliklerinin İş Kazası ve Meslek Hastalıklarına Etkisi Üzerine Bir İnceleme. *Fırat Üniversitesi Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2(1), 53-72.
- [10] Gencer, G., ve Gencer, K. (2021). Work Accidents and Occupational Diseases Cluster Analysis with respect to the classification of

- the provinces in Turkey. *Paramedik ve Acil Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 2(2), 103-113.
- [11] Ulutaş, B. (2016). Türkiye'deki İllerin İş Kazaları Ve Meslek Hastalıkları Açısından Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(2), 23-46.
- [12] Yardım, N., Çipil, Z., Vardar, C., ve Mollahaliloğlu, S. (2007). Türkiye iş kazaları ve meslek hastalıkları: 2000-2005 yılları ölüm hızları. *Dicle Tıp Dergisi*, 34(4), 264-271.
- [13] Arif, G., ve Kadir, G. (2019). Türkiye'de İş Kazalarının İl Bazında Analizi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 17(1), 289-300.
- [14] Bayramlar, Z. (2019). Türkiye Sosyal Güvenlik Kurumu 2010-2015 Yılları İş Kazası, Meslek Hastalığı Ve Mortalite Sayılarının İllere Göre Standardizasyonu. *İstanbul Tıp Fakültesi Dergisi*, 82(1), 29-39.
- [15] Kayhan, Ö. G. A., ve Doğan, A. (2020). Sosyal Güvenlik Kurumu İş Kazası İstatistiklerinin Sigortalı Çalışan Sayıları Doğrultusunda İncelenmesi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 102, 449-480.
- [16] Karlaftis, M. G., ve Tarko, A. P. (1998). Heterogeneity considerations in accident modeling. *Accident Analysis ve Prevention*, 30(4), 425-433.
[https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(97\)00122-X](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(97)00122-X)
- [17] Lombardi, M., ve Rossi, G. (2013). Cluster analysis of fatal accidents series in the INFOR. MO database: Analysis, evidence and research perspectives. *International journal of safety and security engineering*, 3(4), 318-332.
- [18] Ng, K., Hung, W., ve Wong, W. (2002). An algorithm for assessing the risk of traffic accident. *Journal of Safety Research*, 33(3), 387-410. [https://doi.org/10.1016/S0022-4375\(02\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0022-4375(02)00033-6)
- [19] Romesburg, C. (2004). Cluster Analysis for Researchers. Lulu.com.
- [20] Pektaş, A. O. (2013). SPSS ile veri madenciliği. Dikeyksen Yayın Dağıtım, Yazılım ve Eğitim Hizmetleri San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul.
- [21] Yaz, H. F. (2014). Çok Değişkenli İstatistiksel Tekniklerden Kümeleme Analizi; SPSS ile Bir Uygulama. Ankara.
- [22] Kumar, S. (2014). Efficient K-Mean Clustering Algorithm for Large Datasets using Data Mining Standard Score Normalization. *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun.*, 2(10), 3161-3166.
- [23] Mohamad, I. B., ve Usman, D. (2013). Standardization and its effects on K-means clustering algorithm. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(17), 3299-3303.
- [24] [Selvi, H. Z., ve Çağlar, B. (2017). Çok Değişkenli Haritalama İçin Kümeleme Yöntemlerinin Kullanılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 415-429.
- [25] Arslan, V. (2015). İnşaat Sektöründe İş Kazalarının Medyadaki Yansımaları ve Analizi. (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- [26] Hasan, Ö., ve Günaydın, A. (2017). Zonguldak'ta Maden İşçilerinin Kömür Ocaklarında Kullandıkları Bazı Madencilik Terimleri Üzerine. *Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim (TEKE) Dergisi*, 6(3), 1334-1352.
- [27] Müftüoğlu, B. G., ve Taniş, B. (2010). 21. Yüzyılda Zonguldak maden işletmelerinde çalışma hayatı: Bir kesit-tek gerçek. *Çalışma ve Toplum*, 2(25), 185-216.

Comparison of Different Cooling Systems in Plastic Injection Molding

Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Farklı Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Oğuz GİRİT¹ 

¹Marmara University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, 34854, İstanbul, Turkey

Abstract

Injection molding is preferred for plastic products due to its high efficiency. However, one of the most important factors after injection is the cooling of the part. Therefore, the cooling process considers being an essential part of the total molding time. Generally, the cooling process in plastic injection molds is done by circulating the cooling liquid through the holes opened in the radial and axial direction on the mold. However, in cases where the cooling is not at the wanted level, the efficiency is increased by placing high thermal conductivity coefficients materials in the molds. With the development of manufacturing methods, conformal cooling systems with cooling channels that follow the molded part geometry have emerged as an alternative to this method. However, this is an expensive method, and studies are ongoing. In this study, the mold cooling times were analyzed and compared with the help of the MoldFlow analysis program on a sample part with a conventional cooling system, as a result of placing a conformal cooling system and a material (insert) with a high thermal conductivity coefficient in the mold.

Keywords: Plastic Injection, Conformal Cooling Channels, Cooling of Plastic Injection Molding, Analysis of Mold Cooling Times

Öz

Enjeksiyon kalıplama, plastik ürünler için yüksek verimlilik sebebiyle tercih edilmektedir. Enjeksiyon sonrasında en önemli unsurlardan birisi de parçanın soğutulmasıdır. Soğutma işlemi, toplam kalıplama süresinin önemli kısmını oluşturmaktadır. Genellikle plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma işlemi kalıp üzerine radyal ve eksenel yönde açılan deliklerden soğutma sıvısı dolaştırılması ile yapılır fakat soğutmanın istenilen düzeyde olmaması durumlarında kalıplara ısı iletkenlik kat sayısı yüksek olan malzemeler yerleştirilerek verim arttırılmaya çalışılır. İmalat yöntemlerinin gelişmesiyle bu metoda alternatif olarak kalıplanan parça geometrisini takip eden soğutma kanallarına sahip olan şekil uyumlu (konformal) soğutma sistemleri ortaya çıkmıştır. Ancak bu pahalı bir yöntemdir ve üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, klasik soğutma sistemine sahip ve üretimi devam eden örnek bir parçada MoldFlow analiz programı yardımı ile klasik soğutma sistemi, şekil uyumlu (konformal) soğutma sistemi ve kalıba ısı iletkenlik katsayısı yüksek olan bir malzeme (insert) yerleştirilmesi sonucunda kalıp soğutma sürelerinin analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon, Konformal Soğutma Kanalları, Plastik Enjeksiyonda Soğutma, Kalıp Soğutma Sürelerinin Analizi

I. INTRODUCTION

The plastic injection molding method, which is used to make plastic components with acceptable geometry, is one of the industry's most cost-effective procedures for mass manufacturing [1]. With an injection press, the plastic material is melted and injected into the mold cavity, filling the cavity geometry. The finished object is made by cooling the molten plastic substance that fills the shape.

The injection molding process consists of four major stages: injection, packing, chilling, and ejection of the item from the mold [2]. The cooling step accounts for 50 to 80 percent of the total cycle duration [3]. Although cooling time can account for more than 60% of the molding cycle, reducing cooling time would greatly enhance production rate and save costs [4]. Uncontrolled cooling time reduction, on the other hand, may result in severe shrinkage and warpage of the components [5]. As a result, several investigations are being conducted in order to minimize cooling time while maintaining part quality. The most crucial of them is altering the shape of the cooling channels [6].

In plastic injection molding, straight holes are drilled in the mold steels in the radial and axial directions to cool the molten plastic, and the cooling process is provided by circulating liquid (usually water) through these holes [7]. However, the number and diameter of these holes vary according to the part and mold design to be injected, and the wanted efficiency may not be achieved due to design restrictions [8].

There may be regions in a molded part that increase cooling times [9]. In this case, materials with high thermal conductivity coefficient inserts are usually placed in the mold areas, increasing the cooling time.

The conformal cooling system with cooling channels following the part's geometry has emerged with the development of additive manufacturing methods and the production of parts with complex geometries [10]. In this regard, with the study of Hong-Seok Park et al., it has been observed that there is a 30% time-saving in cooling time and improvements in part quality in a mold in which a conformal cooling system is used compared to a mold with a conventional cooling system [11].

Simulation studies and testing prototype conformal cooling patterns using various methodologies have been the focus of conformal cooling system research [12].

Konsulova-Bakalova used the thermal simulation program SolidWorks Simulation to examine conformal cooling channels with circular and elliptical sections. He found that the component's cooling time was improved utilizing conformal cooling channels, which resulted in a decrease in manufacturing cycle time and a rise in part quality [13].

Many studies have proposed strategies for designing cooling channel sections optimally in conformal cooling systems [14-15]. Furthermore, novel methods for improving heat transport have been developed and verified by analytical modeling and simulation [16].

In this study, numerical analyzes of the cooling systems of a sample product, which has a conventional cooling system and whose production continues, were made, and the results were interpreted.

II. MATERIAL AND METHOD

The product used in the analysis is shown in Figure 1. The product dimensions 505 x 178 x 337 mm and is 4 mm thick. There are 2° angles on the side surfaces of the product. Transparent Polycarbonate (PC) material is used for the product.

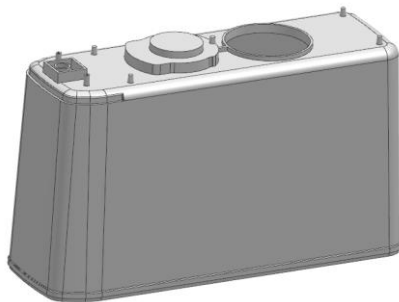


Figure 1. Product

There are four common types of conformal cooling channels in the literature: spiral conformal cooling channels [17-18], zigzag type conformal cooling channels [17], scaffold conformal cooling channels [19], and Voronoi diagram type [20].

Wang et al. The approach of forming spiral channels for conformal cooling systems [17] and the cooling channels obtained from spiral curves have concluded that the cooling liquid flow rate almost does not decrease [17]. Therefore, in this study, spiral conformal cooling channels were used.

The size of the cooling channels was established for the conformal cooling system analysis based on the wall thickness of the plastic portion [21]. For example, for a wall thickness of 4 mm, the channel diameter is 12 mm, the distance between the centers of the channels is 30 mm, and the distance between the channel center and the mold surface is 14 mm (Figure 2a). In conformal cooling channels, a design method is used in which the distance between the channels and the distance between the mold surface is kept constant [22]. In addition, many researchers are working on various algorithms to automate the cooling channel design in the conformal cooling system [23].

The mold materials and properties used in the shape-matched cooling system analysis are shown in Table 1.

Table 1. Used material properties of the conformal cooling system

Material	Density g/cm^3	Specific Heat $J/Kg-K$	Thermal conductivity $W/m-K$
Mold Steel	7,85	465	39,5

In the conventional cooling system and insert cooling analyses, the cooling channels were used when the mold was produced, as shown in Figure 2b.

To make a comparison, in the cooling system analysis in which material with a high thermal conductivity coefficient is used, the cooling channels are the same as the cooling channels used in the conventional cooling system. Therefore, only the insert material shown in Figure 3 has been changed. The properties of the insert material are shown in Table 3.

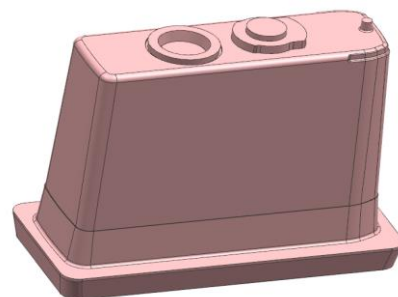


Figure 3. Insert

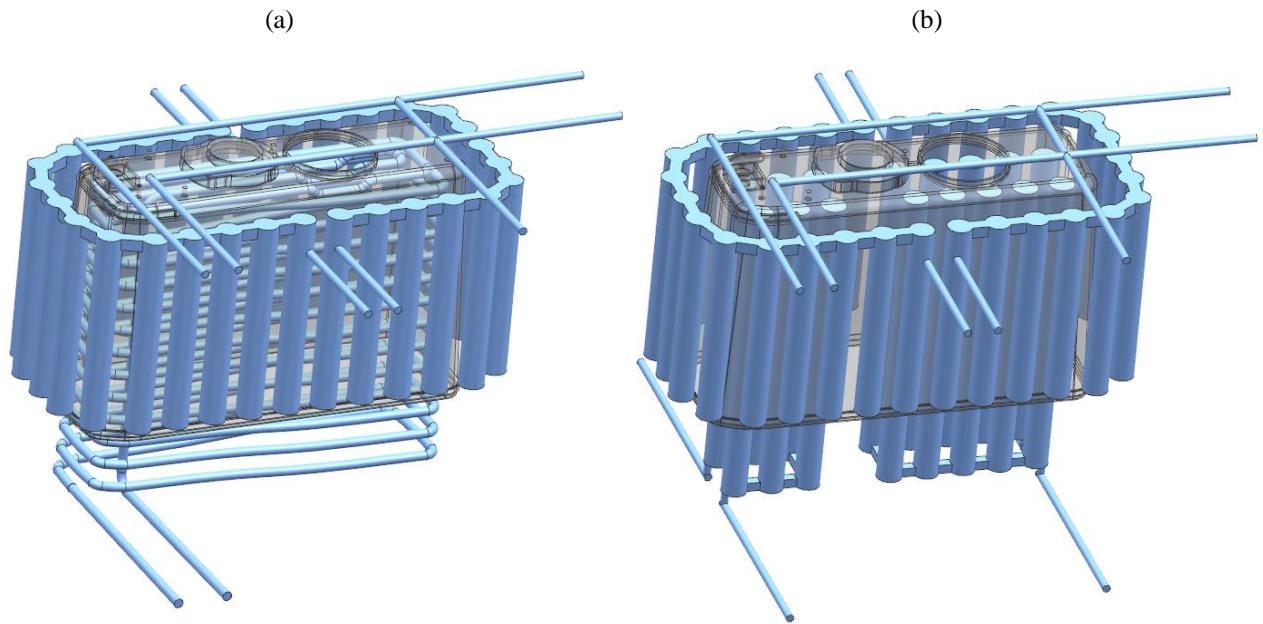


Figure 2. Conformal cooling system(a), Cooling system of produced product (b)

Table 2. Material properties of the insert

Material	Density (g/cm ³)	Specific Heat J/Kg-K	Thermal conductivity W/m-K
Beryllium-Copper (BeCu) Insert	8.415	360	130

The analysis results examined the cooling time and the amount of distortion on the plastic part.

2.1. Pre-Analysis

The final weight of the product is 80,215 grams. Plastic material properties are shown in Table 3.

Table 3. Material properties of the molded plastic

Number	Characteristic feature	Value
1	Solid density (g/cm ³)	1.05
2	Melt density (g/cm ³)	0.19
3	Thermal conductivity (W/m.°C)	0.25
4	Heat capacity (J/kg.°C)	2302

The mesh structure of the plastic product is shown in Figure 4. There are 166032 elements in the plastic product.

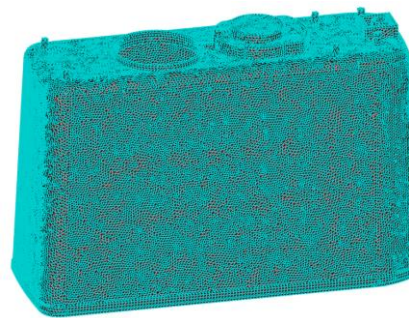


Figure 4. Mesh structure

In the first stage, a “Gate Location” analysis was performed to determine the injection point (Figure 5), and it is seen that the part base is suitable accordingly.

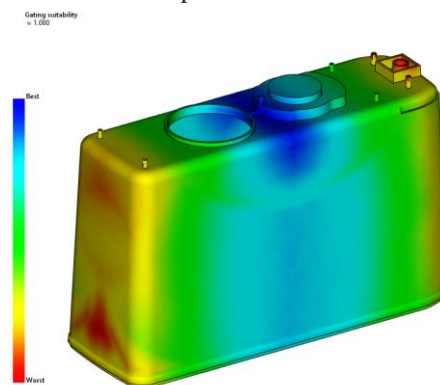


Figure 5. Gate location analysis

"Molding Window" analysis was performed to determine the injection time and melt temperature (Figure 6).

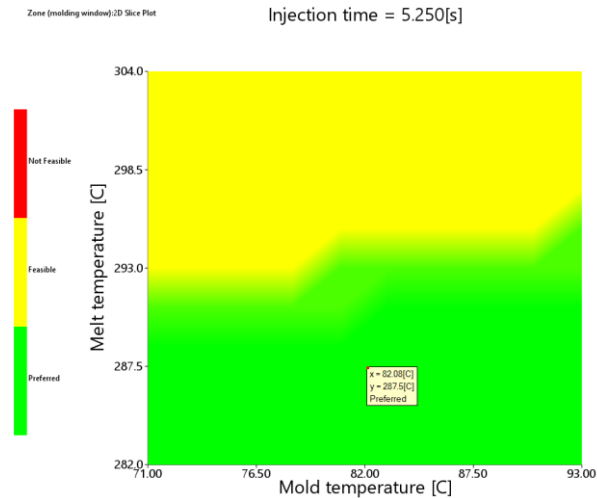


Figure 6. Molding window analysis

The injection time is shown on the x-axis and the melt temperature on the y-axis.

As shown in Figure 6, the analysis result is separated into three areas: green, yellow, and red. As a result, the melt temperature in the green zone, which is the ideal point, is 287.5 °C, the mold temperature is 82 °C, and the injection duration is 5.25 seconds.

As the third step, "Fill" analysis is performed to control the part's selected filling time and injection point. Finally, as shown in Figure 7, the part is filled.

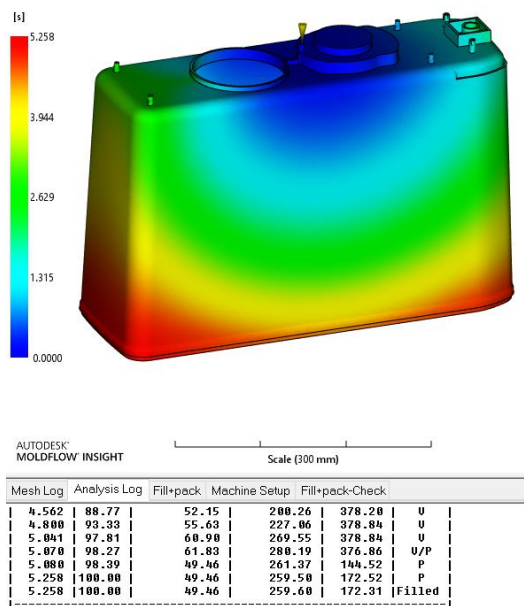


Figure 7. Fill analysis

As a result of these analyses, the cooling analyses' boundary conditions are shown in Table 4.

Table 4. Boundary conditions of the cooling analysis

Injection Temperature	287.5 °C
Ejection Temperature	160 °C
Mold Temperature	82 °C
Injection Time	5.25 s

In order to make the analysis compatible with the application, mold plates were added to the analysis (Figure 8).

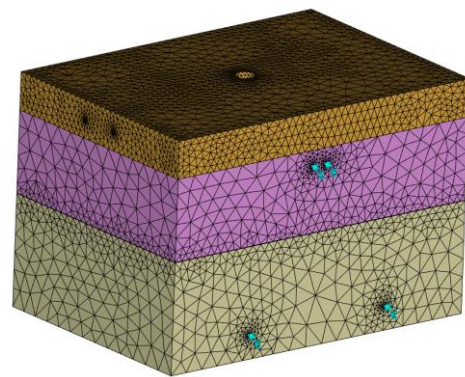


Figure 8. Mesh structure of the mold plates

III. RESULTS AND CONCLUSIONS

As a result of the analysis, the cooling times in different cooling systems and the temperature distribution resulting from this were determined. The temperature distribution at the time of removal in cooling systems is shown in Figure 9a for conformal, Figure 10a for insert, and Figure 11a for the conventional cooling system. The amount of warpage during and after the cooling process is shown in Figure 9b for conformal, Figure 10b for insert, and Figure 11b for the conventional cooling system. For all cooling systems, the temperature in all parts of the plastic part has dropped below the ejection temperature.

The cooling and cycle times and the multiplicative amounts obtained as a result of the analyzes for all cooling systems are shown in Table 5. In the analysis results, the molds with the longest cooling time than the shortest cooling time are respectively the conformal cooling system (25.96 s), the cooling system with the material with a high thermal conductivity coefficient (30 s), and the conventional cooling system (68.57 s). In terms of distortion, it was determined that the molds used a conformal cooling system (2,908 mm), a cooling system with high thermal conductivity coefficient material (3,876 mm), and a conventional cooling system (5.59 mm).

Table 5. Cooling Times and Warpages for cooling systems

Type of cooling system	Cooling time, s	Warpage, mm
Conformal	25,96	2,908
Insert	30	3,876
Conventional	68,57	5,59

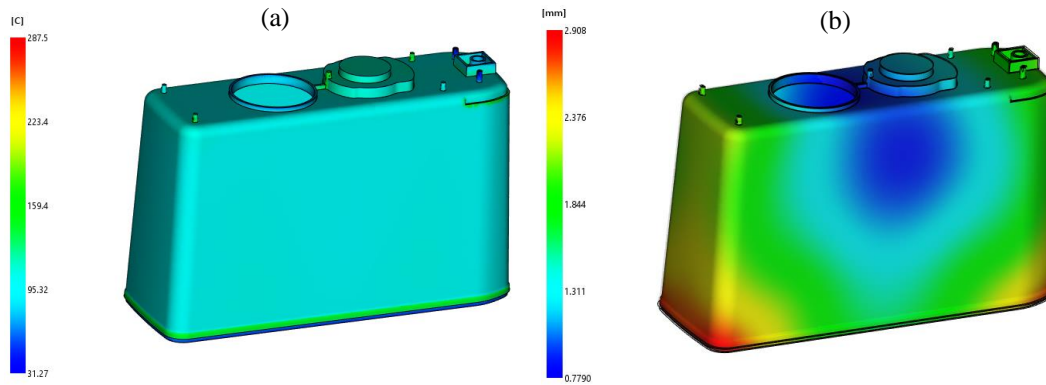


Figure 9. Ejection temperature at the ejection time of conformal cooling system (a), Warpage (b)

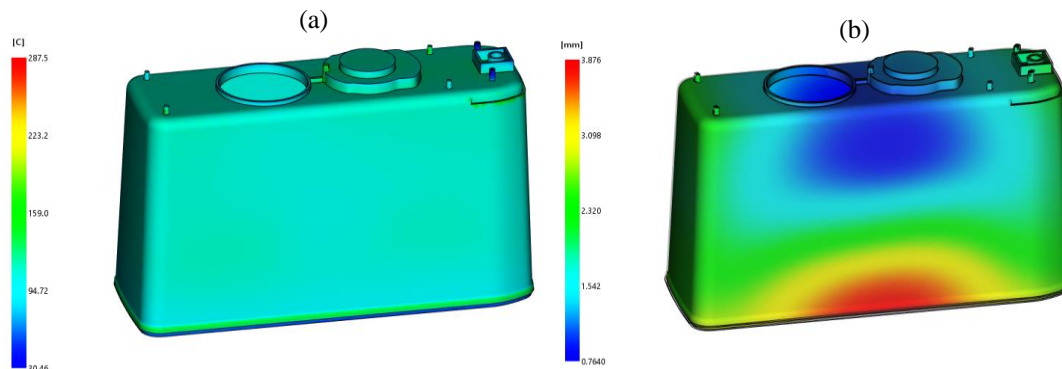


Figure 10. Ejection temperature at the ejection time of insert cooling system (a), Warpage (b)

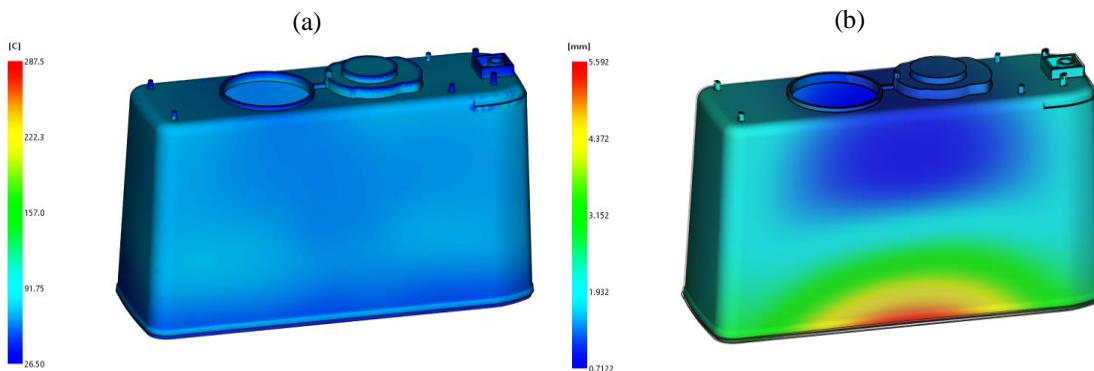


Figure 11. Ejection temperature at the ejection time of conventional cooling system (a), Warpage (b)

According to the analysis results, when the conformal cooling system and the conventional cooling system are compared, there is a 62% reduction in cooling time and a 47.97% reduction in the amount of warpage.

When the insert cooling system and the conventional cooling system are compared, there is a 56.25% reduction in cooling time and a 30.66% reduction in the amount of warpage.

When the conformal cooling system and the cooling systems with high thermal conductivity coefficients are compared, there is a reduction of 13.46% in the cooling time and 25% in the amount of warpage.

As a result of the analysis, it is seen that the conformal cooling system has the highest cooling efficiency, followed by the cooling system with the thermal conductivity coefficient.

The cooling efficiency and performance of the cooling systems used in plastic injection molding were compared with the analyzes made. Numerical analyzes were carried out with the Moldflow program using models prepared according to three different cooling systems. As a result of the analysis, the cooling times and the amount of warpage in the plastic part during and after the cooling were determined. Since the conventional cooling system analyses were made in a mold produced and currently used, the results obtained were compared and verified. This study can be

improved by producing molds and experimental results to verify the conformal and insert cooling systems.

As a result of the analysis, the lowest values were found for the cooling time and the amount of warpage in the conformal cooling system. The results obtained in the cooling system with thermal conductivity coefficient are higher than the conventional cooling system, even if it is lower in performance and efficiency compared to the conformal cooling system.

The results obtained in the conformal cooling system depend on the homogeneous cooling of the part, flow rates, and pressure drops in the cooling ducts. It is evaluated that the efficiency in the cooling system with the thermal conductivity coefficient is due to the high thermal conductivity of the material used.

Although studies on conformal cooling systems that emerged with the development of manufacturing methods continue. The high production costs and low surface quality of the parts produced by additive manufacturing significantly reduce the usability of the parts in plastic injection molds. Various studies are underway to overcome these disadvantages [24,25]. Determining the thermal zones that increase the cooling times in the molded products and placing the materials with a high thermal conductivity coefficient increases the efficiency by reducing the cooling times significantly. The manufacturability of these parts is more convenient than the parts produced with additive manufacturing.

Studies to increase mold efficiency in plastic injection molding depend on the product geometry and material to be molded. Therefore, the solutions found for different product geometries and materials can vary according to each other.

ACKNOWLEDGMENT

I am grateful to Akin KANMAZ for aids.

REFERENCES

- [1] Kim, H.K.; Sohn, J.S.; Ryu, Y.; Kim, S.W.; Cha, S.W. Warpage Reduction of Glass Fiber Reinforced Plastic Using Microcellular Foaming Process Applied Injection Molding. *Polymers* (2019), 11, 360.
- [2] Shayfull, Z.; Sharif, S.; Zain, A.M.; Ghazali, M.F.; Saad, R.M. Potential of Conformal Cooling Channels in Rapid Heat Cycle Molding: A Review. *Adv. Polym. Technol.* (2014), 33.
- [3] S.H.Masood and N.N.Trang, Thermal analysis of conformal cooling channels in injection moulding, *Proceedings of the 3rd BSME-ASME International Conference on Thermal Engineering*, Dhaka, Bangladesh, (2006).
- [4] J.Shoemaker, *Moldflow Design Guide: A resource for plastics Engineers*, vol.10, *Hanser Publishers*, (2006).
- [5] J.Meckley and R. Edwards, A Study on the design and effectiveness of conformal cooling channels in rapid tooling inserts, *The Technology Interface Journal*, vol. 10, no.1, (2009).
- [6] Y. Wang, K.-M. Yu, C. C. L. Wang, and Y. Zhang, Automatic desing of conformal cooling circuits for raid tooling, *CAD Computer Aided Design* vol.43, no. 8, pp. 1001-1010, (2011).
- [7] Wang G. L., Zhao G. Q. and Wang X. X., Heating/cooling channels design for an automotive interior part and its evaluation in rapid heat cycle molding, *Materials & Design*, 59: 310-322, (2014).
- [8] Altaf K., Raghavan V. R. and Rani A. M. A., Comparative thermal analysis of circular and profiled cooling channels for injection mold tools, *Journal of Applied Sciences*, 11(11): 2068-2071, (2011).
- [9] Berger, G.R.; Zorn, D.; Friesenbichler, W.; Bevc, F.; Bodor, C.J. Efficient cooling of hot spots in injection molding. A biomimetic cooling channel versus a heat-conductive mold material and a heat conductive plastics. *Polym. Eng. Sci.* (2019), 59, E180–E188.
- [10] Rajamani, P.K.; Ageyeva, T.; Kovács, J.G. Personalized Mass Production by Hybridization of Additive Manufacturing and Injection Molding. *Polymers* (2021), 3, 309.
- [11] H. S. Park, N. H. Pham, Design of conformal cooling channels for an automotive part, *International Journal of Automotive Technology* 10 (1) (2009), 87-93.
- [12] A.Safifullah, Ş Masood, and I. Sbarski New cooling channel design for injection molding, in *Proceedings of the World Congress on Engineering*, (2009).
- [13] Application of solidworks simulation for design of cooling system for injection molding, *International Virtual Journal*, In press.
- [14] Lin ZC, Chou MH (2002) Design of the cooling channels in nonrectangular plastic flat injection mold, *J Manuf Sys* 21(3): 167-186.
- [15] Ahari H, Kajepuor A, Bedi S (2011) Manufacturing optimization of laminated tooling with conformal cooling channels, *Rapid Prototype J* 17(6): 429-440.
- [16] Altaf K, Raghavab VR, Rani AMA (2001) Comparative thermal analysis of circular and profiled cooling channel for injection mold tools, *J Appl Sci* 11 (11): 2068-2071.
- [17] Y. Wang, K.-M. Yu, C. C. L. Wang, Spiral and conformal cooling in plastic injection molding. *Computer-Aided Design*, vol. 63 (2015), 1-11.
- [18] H. S. Park, N. H. Pham, Design of conformal cooling channels for an automotive part.

- International Journal of Automotive Technology*, vol. 10, (2009), 87-93.
- [19] Au, K. M. and K. M. Yu, A scaffolding architecture for conformal cooling design in rapid plastic injection moulding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 34, (2007), 496-515.
- [20] Y., Wang, K.-M. Yu, C. C. L. Wang, Y. Zhang, Automatic design of conformal cooling circuits for rapid tooling. *Computer-Aided Design*, vol. 43, (2011), 1001-1010.
- [21] Jahan S. A., Wu T., Zhang Y., Zhang J., Tovar A. And Elmounayri H., Thermo-mechanical design optimization of conformal cooling channels using design of experiments approach, *Procedia Manufacturing*, 10: 898-911, (2017).
- [22] Göktaş M., Gültaş A. and Bayraktar Ö., Cooling of plastic injection moulds using design adaptive cooling canals, *International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2016)*, Sarajevo, 1987-1993, (2016).
- [23] J. M, Jauregui-Becker, G. Tosello, F. J. Van Houtena, H.N. Hansenb, Performance evaluation of a software engineering tool for automated design of cooling systems in injection moulding, *Procedia CIRP* 7, (2013), 270-275.
- [24] Kuo, C.C.; Qiu, S.X.; Lee, G.Y. Characterizations of polymer injection molding tools with conformal cooling channels fabricated by direct and indirect rapid tooling technologies. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* (2021), 117, 343–360.
- [25] Gibson, L.J.; Ashby, M.F. Cellular solids: Structure and properties. *Cambridge Univ. Press* (1997), 2, 510.