

Crime Data Analysis with Association Rule Mining

Birliktelik Kural Çıkarımı ile Suç Veri Analizi

Duygu ÇALIŞKAN¹, Kazım YILDIZ², Buket DOĞAN², Abdulsamet AKTAŞ²

¹Marmara University, Institute of Pure and Applied Sciences, Department of Computer Engineering 34722, Istanbul, Turkey

²Marmara University, Technology Faculty, Department of Computer Engineering, 34722, Istanbul, Turkey

Abstract

Along with the positive developments of the globalizing world, new types of crime such as social media fraud, drug trafficking and vehicle robbery, which have disrupted community welfare and order, have also emerged. With developments in information technology, it is possible to record real-time various data related to subject of crimes, location and time information, type of crime. By analyzing these recorded raw data using various data mining methods, it is possible to extract information that can be used to identify the data or for prediction purposes. In this study, an analysis of the association rules on the NIBRS Crime dataset which includes real crime cases from July 2016 to April 2018 in the state of Maryland in USA was carried out using R program with Apriori algorithm and Rapid Miner with FP-Growth algorithm. With these association rules created, the time intervals, the districts, the types of crimes and the frequency of the occurrences are analyzed and the results of the algorithms are presented. With the results of this analysis; for organizations which are responsible for maintaining the peace and social order, such as security forces and law enforcement agencies; it is possible to follow useful information such as which crimes are committed more frequently and in which time period of day the criminals are more active.

Keywords: Crime Analysis, Association Rule, Apriori, FP-Growth

Öz

Küreselleşen Dünya'nın hayatımıza kattığı olumlu gelişmeler ile birlikte, toplum refahını ve düzenini bozan sosyal medya dolandırıcılığı, uyuşturucu ticareti, araç hırsızlığı vb. gibi yeni suç türleri de ortaya çıkmıştır. Bilişim teknolojisindeki gelişmeler sayesinde bu suçların konusu, konum ve zaman bilgileri, suç türü gibi olaya ilişkin çeşitli verilerin gerçek zamanlı kayıt altına alınabilmesi mümkün olmaktadır. Kayıt altına alınan bu ham verilerin çeşitli veri madenciliği yöntemleri kullanılarak analiz edilmesi ile veriyi tanımlayan veya öngörü amaçlı kullanılacak bilgilerin ortaya çıkartılması mümkündür. Bu çalışmada, veri madenciliği uygulamalarından R programı ile Apriori algoritması ve Rapid miner programı ile FP-Growth algoritması kullanılarak, ABD'nin Maryland eyaletinde 2016 yılının Temmuz ayından 2018 Nisan ayına kadar meydana gelen suç verilerinden oluşan NIBRS Crime veri seti üzerinde birliktelik kuralları analizi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan bu birliktelik kuralları ile hangi saat aralıklarında, hangi semtte, ne tür suçların, ne sıklıkla gerçekleştirildiği analiz edilmiş ve algoritmaların sonuçları sunulmuştur. Bu analiz sonucunda çıkan sonuçlar ile güvenlik güçleri ve kolluk kuvvetleri gibi toplumun huzurunu ve düzenini korumakla görevli olan kuruluşların; hangi semtte, hangi suçların daha sık işlendiği veya suçluların hangi saat aralığında daha aktif olduğu gibi faydalı bilgileri takip etmesi mümkün olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Suç Analizi, Birliktelik Kuralları, Apriori, FP-Büyüme Algoritması

I. INTRODUCTION

With the development of technology and civilization in the world, the amount of data produced increases day by day. In this increasing world of data, the use of information systems is of great importance for the storage and interpretation of data. In this study, crime data, which is an important sociological phenomenon in human history, is examined. Crime is a concept that has existed since the early ages when humans existed. The murder of Adam and Eve's first children, Habil, by his brother, Kabil, is one of the first known criminal cases of premeditated murder [1].

While crimes were committed in simple ways in the early periods, today this situation is quite different. The constant change and development of technology and civilization, as well as changing human life in every sense, has also shown

its effect in the phenomenon of crime [2]. Existing types of crime have now become more complex and then simple. Crime is neither systematic nor purely coincidental. Therefore, a standard definition of the concept of crime could not be made. Although there have been many definitions to date for the concept of crime, the most accepted of these is “a prohibited act or a whole of actions, or a violation of an obligation that is bound by the laws of society.” is the definition [1-3].

Crime analysis examines the relationship between crime and criminal, and includes data on the regional distribution of crimes. Crime analysis takes an important place in the field of safety and security in terms of providing foresight before a crime is committed [4]. Crime analysis is a concept that involves preventing crime from occurring, identifying existing crimes and crime trends and taking necessary measures against them [5]. The crime analysis has an important role in the security and safety in terms of finding the connection between the crime and the criminal, getting information about the rate of territories of the criminals which they have existed and providing foresight before committal.

An important issue in crime analysis is the representation of criminals according to a profile. This topic can be divided into three main topics: inductive, deductive and geographic profiling. Inductive profiling is carried out with the help of the characteristics of known criminals. Deductive profiling is created by the responses and information provided by the victim. Geographical profiling is shaped by taking advantage of the geographical features of the place where the crime is committed [6]. Crime data mining is one of the most popular techniques used for crime analysis.

Data mining is the process of acquiring meaningful and large-scale information from large datasets to help decision-making for future processes. [7]. In other words, it is process of obtaining the valuable data among the large-scale data. In this way, it is possible to discover the relationships between the data and, if necessary, to make predictions [8]. Data mining techniques such as clustering, classification and association rules (Apriori algorithm, FP-Growth algorithm) are some of the effective methods used in crime analysis. Through these techniques, it is possible to identify criminal patterns inference of relationships between data that appear to be unconnected. In the clustering technique, similarities and relationships in crime records can be found. The clustering technique allows the study of the proximity and distance of crime distributions by regions. Outlier detection stands out as a technique used to establish a pattern of abnormal conditions in records. Fraud detection is a criminal data mining method used in the study of issues such as

network attacks. If there is unusual activity in an area, it is usually a sign of an incident [9].

It is essential to take a look at some important studies in the field of crime data mining to date. These studies provide important examples for the use of data mining in the field of crime.

The COPLINK project is significant from work in the field of crime data mining. In the COPLINK project, the police unit and a team from the University of Arizona worked together to extract assets from criminal records. As a result of this study, it was possible to infer those associated with the crime [10].

Ozgul, Atzenbeck, Çelik and Erdem have introduced a prediction model called Crime Prediction Model (CPM) to solve unsolved terrorist incidents [11]. Mason used the naive bayes method of classification to analyze crime data in his study [12]. Mittal, Goyal, Sethi and Hemanth analyzed crime data using machine learning algorithms [13]. By using Thangamuthu, Vadivel and Priyadarshini clustering algorithms; They analyzed crime data with the k-means algorithm and improved the crime-based forms [14]. Ma, Chen, and Huang used a two-step clustering algorithm called AK-Modes for looking similar event subsets from large datasets automatically [15].

In this study, it is aimed to improve the application of association rules analysis on NIBRS Crime data consisting of crime data that occurred between July 2016 and April 2018 in Maryland, USA [16]. Unlike other approaches in the crime prediction literature, it offers the design and implementation of a proactive method to predict crime trends. Crime data crime analysis was conducted on actual crime data provided by the U.S. General Services Administration [16]. Association rules were applied on dataset which contain 98.272 criminal data.

This article is organized as follows. Chapter 2 presents the most important approaches in crime data mining literature and the most representative projects in such a research area. Chapter 3 data describes training the step-by-step model and evaluation of real data. Finally, Chapter 4 is the conclusion of the article and summarizes future work.

II. METHODOLOGY

2.1. Association Rule Mining

Data mining represents the process of discovering significant new relationships and trends through the processing of data stacks; Thanks to this process obtains eduseful meaningful information. [17].

Data mining methods are divided into two as predictive and descriptive. In predictive models, a model is developed from data with known results and it is aimed to estimate the result values for data sets with unknown results. In the descriptive model, it is aimed to find data by combining with clustered relationships. Supervised (Classification); It is represented by Neural Network, K-Nearest Neighbor, Decision Tree, Bayesian, Genetic Algorithms, Decision Support Machines, Fuzzy Set and other methods. And Unsupervised; represented by Clustering, Association Rules, Sequential Pattern Analysis, Extreme Value Analysis and other methods. [18,19].

Association rules are one of the most popular data mining methods. Support and confidence in the model discovered by the association rule technique are two interestingness measures of this rule [19,20]. Definition:

Let $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ be a binary set of attributes that we will call products.

Let $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ denote the operations in the database. The value each $t_k =$ will take is 0 or 1. If $t_k = 0$ I_k is not bought, if $t_k = I_k = 1 =$ means purchased. There is a separate record for each transaction in the database. Now for $X \subseteq I$ the value t_k corresponding to each I_k in X is $t_k = 1$.

A association rule is expressed as follows:

$X \Rightarrow I$, X is a subset of I . I_j is any element in I and this element is not in X . In order to say that $X \Rightarrow I$ rule is appropriate for T , it will be necessary to mention a certain level of confidence. That is, how much of all the X in T provide I to I should be expressed with the value $c\%$. In this case, we can express the association rule with a confidence level of $0 \leq c \leq 1$ as follows: $X \subseteq I \Rightarrow c$. Trust level also expresses the strength of the rule. There are two values used in expressing the mentioned relationships: Support and Trust. These values are numerical values and we need to define some numerical terms to describe them. Let D be the database of transactions, and let N be the number of transactions in D . Each D_i process is a set of products. [19,21].

Let support (X) be the ratio of transactions involving the X product set:

$$\text{Confidence}(X) = \{I \mid I \in D \wedge I \supseteq X\} / N$$

I is an element set and $|\cdot|$ also shows the number of elements of the set.

The support value of an association rule is the ratio of both the previous and the next transactions to the total number of transactions. Confidence value is the rate at which transactions that include the previous one also have the next

one. Support and confidence values for $A \Rightarrow C$ partnership are as follows [22].

$$\text{support}(A \Rightarrow C) = \text{support}(AUC)$$

$$\text{confidence}(A \Rightarrow C) = \text{support}(AUC) / \text{support}(A)$$

Rules that meet both the minimum support threshold (minup) and the minimum confidence threshold (minconf) are called strong. A set of items is called a set of itemset. An itemset that contains K element is a k -itemset [19].

If the confidence value is 100%, the rule is true in all data analyses, and these rules are called “definite”.

In the association rule, the relationship between the items is calculated by the criteria of support and confidence. The support criterion tells you how often the link between items is in the data. The confidence criterion tells you what probability B will be with A . In order for the association of the two elements to be important, both the criteria of support and confidence must be as high as possible [21,23].

2.1.1 Apriori Algorithm

In the literature, there are different algorithms that produce association rules. Apriori algorithm is the most widely used association rule mining algorithm known one in association rule inference algorithms [18].

Apriori is a classic and widely used association rule algorithm. The Apriori algorithm works by scanning the database multiple times to find frequent item sets. In the first scan, there is a found set of frequent items with one element, providing the minimum support value. Frequent sets of items found in the previous search in on going scans are new potential frequent items called candidate clusters, Used to produce sets [24].

Steps of the Apriori algorithm:

1. Determining the minimum number of supports and the minimum confidence value.
2. Finding the frequency value (number of repetitions) of each item in the item sets and calculating the support values.
3. Having support lower than the minimum support value disabling items.
4. A new table is created with our products that have a support value equal to or above the minimum support value we previously determined. After creating our new table, we repeat what we did in the first step in our new table. Only this time the frequency value indicates the existence of both objects at the same time.
5. Removing sets of items that are below the minimum support value.

6. Establishing trinity, quaternary ect. partnerships.
7. Those associations who exceed the minimum support value removal of anything else
8. Extracting association rules from triple, quaternary ect. partnerships.

The basic approach in this algorithm, whose pseudo code is defined in Figure 1. If the k-element cluster meets the minimum support criterion, the subsets of this cluster also meet the minimum support criterion. The support value of a set of items is not greater than the support value of its subset. All empty objects of a favorite object set non-subsets are also frequent. [25].

```

L1 = { large 1 – itemsets } ;
for ( k = 2 ; Lk-1 ≠ ∅ ; k++ ) do begin
    Ck = apriori_gen(Lk-1) ; // New candidates
    for all transaction t ∈ D do begin
        Ct = subset(Ck, t) ; // Candidates in t
        for all candidate c ∈ Ct do
            c.count++;
        end
        Lk = {c ∈ Ck | c.count ≥ minsup};
    end
end
Answer = Uk Lk ;
    
```

Figure 1. Apriori Algorithm Pseudocode

2.1.2 Frequent Pattern (FP) Growth Algorithm

The FP Growth algorithm is the improvement of the Apriori algorithm. It is used to find a frequent set of items in a database without candidate creation. FP-Growth algorithm, one of the association rules, shows higher performance than other algorithms.

The FP-Growth algorithm consists of two steps: Creating the FP Tree and extracting common patterns from the FP Tree.

The database needs to be scanned twice to build the FP tree. The first scan selects frequently used items, it is then ordered in descending order to build the list. The second scan creates the FP-Tree. First, operations are reordered according to the F list by removing non-frequent items. The reorganized transactions are later added to the FP Tree. The FP-Growth entry is the FP-Tree and the minimum number of supports. In the FP-Growth algorithm, the nodes in

the FP-Tree are separated from the least found item in the F-List. All items in the path from the node to the root are collected while visiting each node. These items create the conditional pattern basis for that item. These The conditional pattern base that occurs with the element is a small database of patterns. Later FP-Growth is created. FP-Growth is executed on the small FP-Tree and FP-Tree from the conditional pattern base. The process is repeated repetitively without creating a conditional pattern base [25].

Figure 2 shows the pseudo code of the FP-Growth algorithm. First of all, support of each object in the database values are calculated in the algorithm. The support values correspond to the support threshold given as input to the algorithm; Objects that are greater and equal are put in a list, in descending order. This ordering ensures that uncommon items are not added to the FP-Tree. Thanks to the sorting process, items with a larger support value are closer to the root. If an object in the motion record is not in the created tree, a new node is created for that item and the support value is set to 1. If that item was previously created in the tree only the support value of that node is increased by 1.

```

Algorithm FPGrowth{root ,n,minsupport}
    if node only one path,Y,provided that then
        foreach nodes_of_combination nc in Y do
            pattern p = nc U n
            support = min(support values of nc nodes)
            if p.support > minsupport then
                Output(p);
            end
        end
    else
        foreach αi in nodes do
            pattern p = αi U n
            support = min(support values of αi nodes)
            if p.support > minsupport then
                Output(p);
            end
            create object-conditional patterns;
            create object-conditional FPtree tree;
            if FPtree ≠ ∅ then
                Growth(FPtree,p,minsupport);
            end
        end
    end
End
    
```

Figure 2. General Structure of FP-Growth Algorithm

Then, the growth algorithm is run on the obtained FT-Tree. The Growth that is executed for each item in Figure 3 the general structure of its algorithm is shown. Primarily, the paths that the items passes in the algorithm determines. If there is only one branch, the common set of items is the combination of the items that make up the branch. If there is more than one path, the support value is determined as the

minimum support value for that path. These paths then form the basis of the conditional pattern for that item. A conditional pattern tree is created from every conditional pattern basis. Then the algorithm is run on this conditional pattern tree recursively again. When the FP-Growth algorithm ends together the set of frequently visible items is determined.

```

Algorithm FPGrowth(root,n,minsupport)
  if node only one path, Y, provided that then
    foreach nodes_of_combination nc in Y do
      pattern p = nc ∪ n
      support = min(support values of nc nodes)
      if p.support > minsupport then
        Output(p);
      end
    end
  else
    foreach αi in nodes do
      pattern p = αi ∪ n
      support = min(support values of αi nodes)
      if p.support > minsupport then
        Output(p);
      end
      create object-conditional patterns;
      create object-conditional FPtree tree;
      if FPtree ≠ ∅ then
        Growth(FPtree,p,minsupport);
      end
    end
  end
End
    
```

Figure 3. General Structure of FP-Growth Algorithm

2.2 Dataset

The crimes, which occurred in the state of Maryland,

USA between July 2016 and April 2018, were used as a dataset in this study [16]. The preprocessing process includes: correction, completing missing data, removing duplicate data, transforming, integrating, cleaning, normalizing, dimension reduction, etc. are transactions. Parts without analysis value are first deleted from the dataset during the data preprocessing phase. The crime data is then converted to the form appropriate to the data mining algorithms. Some quantitative-qualitative data transformations are needed to make our study conform to the association rules mining algorithm. Some studies on this subject are given below.

- Different criminal characteristics were deduced from date set. Accordingly, the day and month in which the crime was committed is grouped.

- The time zone in which the crime was committed was converted into a 24-hour time zone.

- Attributes that does not have the potential to create association rules such as office code, block address, sector, beat, address number, street prefix, street name have been deleted from the dataset. In Figure 4, the fields of the used data and the content of a sample data can be seen. In the data used, the Crime Name 1, Crime Name 4, and Crime Name 3 fields are text-type fields that store Crime Information. City and Event location is a text-type field that stores information about the city and crime location where the crime was committed. The Event Date and Event Day fields contain the date format that stores the date and day of the crime. The Victims field is an integer field that stores the number of victims. Event Time is a field in the time format that stores

Row No.	Crime Name1	Crime Name2	Crime Name3	City	Event Locati...	Months	Event Day	Event Time	Police Distri...
1	Crime Agains...	All other Larc...	LARCENY (D...	GERMANTO...	Residence - ...	January	Tuesday	0:22	GERMANTO...
2	Crime Agains...	Shoplifting	LARCENY - S...	SILVER SPRI...	Retail - Other	January	Tuesday	0:04	WHEATON
3	Crime Agains...	Weapon Law ...	WEAPON - C...	SILVER SPRI...	Retail - Drug ...	January	Tuesday	0:04	WHEATON
4	Crime Agains...	Trespass of ...	TRESPASSING	SILVER SPRI...	Retail - Drug ...	January	Tuesday	0:04	WHEATON
5	Crime Agains...	Aggravated A...	ASSAULT - A...	GERMANTO...	Convenience ...	January	Tuesday	0:32	GERMANTO...
6	Crime Agains...	Drug/Narcotic...	DRUGS - MA...	SILVER SPRI...	Parking Lot - ...	January	Tuesday	0:58	SILVER SPRI...
7	Crime Agains...	Disorderly Co...	PUBLIC PEA...	ROCKVILLE	Street - Com...	January	Tuesday	0:57	ROCKVILLE
8	Crime Agains...	Simple Assault	ASSAULT - SI...	GERMANTO...	Residence - ...	January	Tuesday	4:00	GERMANTO...
9	Crime Agains...	Trespass of ...	TRESPASSING	ROCKVILLE	Parking Gara...	January	Tuesday	5:00	ROCKVILLE
10	Crime Agains...	False Preten...	FRAUD - SWI...	ROCKVILLE	Residence - ...	January	Tuesday	8:52	BETHESDA
11	Other	All Other Offe...	POLICE INFO...	ROCKVILLE	Residence - ...	January	Tuesday	8:52	BETHESDA
12	Crime Agains...	Drug Equipm...	DRUGS - NA...	SILVER SPRI...	Street - In veh...	January	Tuesday	8:15	SILVER SPRI...
13	Crime Agains...	Destruction/D...	DAMAGE PR...	TAKOMA PARK	Street - Resid...	January	Tuesday	9:10	SILVER SPRI...
14	Crime Agains...	Drug/Narcotic...	DRUGS - HE...	ROCKVILLE	Residence - ...	January	Tuesday	9:30	ROCKVILLE
15	Other	All Other Offe...	MENTAL ILL...	SILVER SPRI...	Street - Resid...	January	Tuesday	13:40	WHEATON

Figure 4. Dataset example

event time information. And finally, the Location field refers to a float field that stores coordinate information.

2.3. Crime Analysis Using Association Rule Mining

In our study, Apriori and FP-Growth algorithms are used for association rule mining and these algorithms are implemented with Rapid Miner and R programming. Association rules on crime data mining with the factors that constitute the crime, the type of crime, the location of the crime, the time of the crime and the situations will be revealed in this study.

The aim of the studies is to analyze crime events, establish a relationship between crime factors and make predictions about crime. The Crime dataset was obtained from the crime which took place in the US state of Maryland from July 2016 to April 2018.

However, there are no rules as to which types of crime and crime scenes are taken.

2.3.1 R Tool

R is a programming language and interpreter for statistical calculations and graphs. It is a GNU project like the S language that has a wide range in time series analysis, classical statistical tests, clustering, classification and graphical techniques [26]. Our data set is analyzed by the Apriori algorithm in the R program. The flow chart for the proposed methodology is seen in Figure 5. First, the data is pre-processed and then Apriori algorithm produces association rules form dataset.

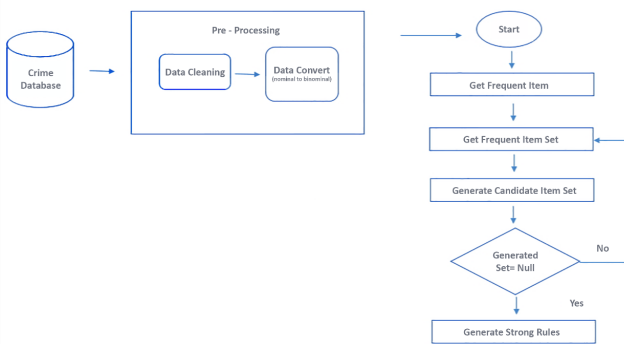


Figure 5. Flow Diagram for Proposed Methodology

2.3.2 Rapid Miner Tool

RapidMiner Studio is a powerful data mining tool for quickly building predictive models [27]. It is developed for the

purposes of machine learning, data and text mining, predictive analysis, and business analysis.

The software is often used for commercial applications as well as research and application development. Besides, it supports all process in data mining. So it can be used for preparation of the data, verification, visualization and optimization. RapidMiner developed with open core model [28]. FP-Growth algorithm is implemented in RapidMiner. In Figure 6, the application of association rules process is designed in RapidMiner.

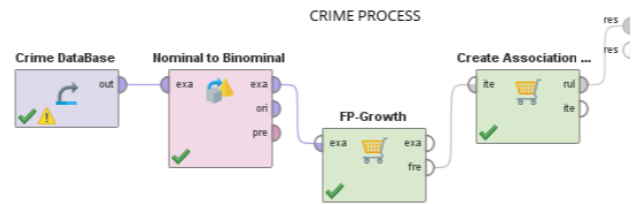


Figure 6. Association Rules Mining Process in RapidMiner

III. ASSOCIATION RULES AND FINDINGS

The rules obtained after the application of association rule mining are listed below. Similar rules were obtained in the R tool and RapidMiner. These rules were established by accepting the support value as 0.01 and the confidence value as 0.8. 325 association rule were obtained from the data set subjected to Apriori and FP-Growth Algorithm. In Figure 7, the first 12 rules are listed according to maximum support value. 15 important rules obtained from the interpretation of the rules are given below.

- Motor vehicle theft is the most common type of crime in The city of Silver Spring.
- In the city of Silver Spring, vehicle theft from property crimes is committed at a high rate in the spring.
- The city of Silver Spring has a higher crime rate on Saturday nights.
- In the city of Rockville, crimes against the community are most commonly committed on the street.
- In the city of Gaithersburg, theft against property is the most common crime.
- The police station in Silver Spring often intervenes in simple and second-degree attacks.
- In the city of Gaithersburg, crimes of property crime, damage to private property, destruction, and trespassing are often committed.

- In the state of Maryland, offenses against property and vehicle theft are often committed in the residence’s vehicle path.
- Community crimes in Silver Spring ,drug, marijuana, narcotics violations are often committed in vehicles on the street.
- Community crimes in Silver Spring , the use of alcoholic vehicles and the use of alcohol in the vehicle are frequently committed.
- In the city of Gaithersburg, the crime of driving under the influence of drugs is often committed.
- Forced entry into the state of Maryland, burglary offenses are more common in single-family housing.
- In the city of Takoma Park, sudden deaths from other crimes often occur.
- In Germantown, fraud, misbehavior and fraud are committed.
- Child abduction crimes are often committed on Saturday.

Figure 8 shows a network diagram of the rules created for the city of Silver Spring. As shown in the Figure 8 ,for the city of Silver Spring, significant relationships were

No.	Premises	Conclusion	Support ↓	Confidence
27	Police District Name = SILVER SPRING	City = SILVER SPRING	0.018	0.908
22	Crime Name2 = All Other Offenses	Crime Name1 = Other	0.018	0.851
34	Crime Name1 = Other	Crime Name2 = All Other Offenses	0.018	0.991
19	Police District Name = WHEATON	City = SILVER SPRING	0.014	0.781
13	Police District Name = MONTGOMERY VILLAGE	City = GAITHERSBURG	0.012	0.722
24	City = GAITHERSBURG	Police District Name = MONTGOMERY VILLAGE	0.012	0.874
23	Event Location = Street - In vehicle	Crime Name1 = Crime Against Society	0.011	0.870
39	Crime Name2 = Drug/Narcotic Violations	Crime Name1 = Crime Against Society	0.010	1
18	Police District Name = GERMANTOWN	City = GERMANTOWN	0.009	0.765
32	City = GERMANTOWN	Police District Name = GERMANTOWN	0.009	0.986
12	City = ROCKVILLE	Police District Name = ROCKVILLE	0.009	0.697
14	Police District Name = ROCKVILLE	City = ROCKVILLE	0.009	0.722

Figure 7. Top 12 Rules Sorted by Maximum Support Value.

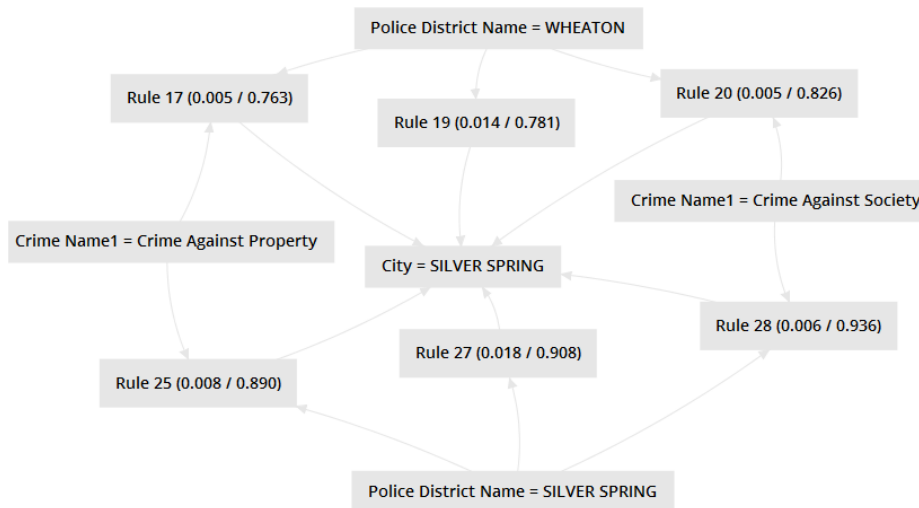


Figure 8. Network Diagram of rules produced for the city of Silver Spring

found between the police district, crime type (crime against property) characteristics. These meaningful relationships are detailed above for the city of Silver Spring in rule analysis.

In Figure 8 shows a graf drawing of rules created for the city of Silver Spring and Crime against property. As shown

in the Figure 9, significant relationships were found between the characteristics of the city of Silver Spring according to crime types (crime against property, drug violations ,vehicle theft, auto theft). In this analysis of these meaningful relationships association rules, the identified motor vehicle theft as

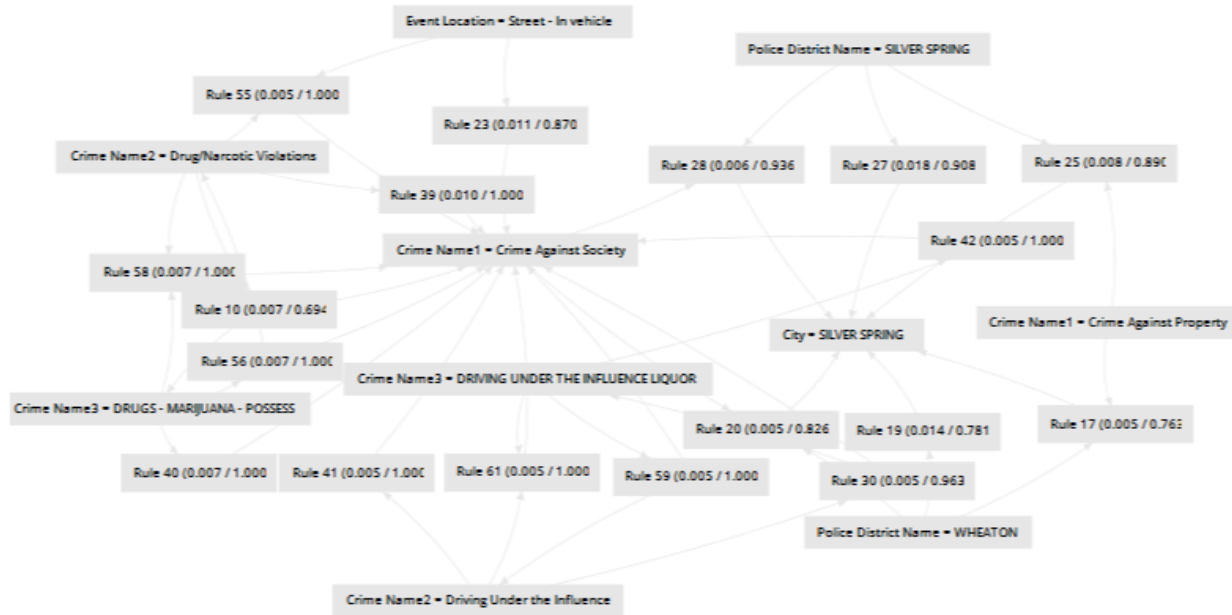


Figure 9. Graf Drawing of Rules Created For The City of Silver Spring and Crime Against Property Crime

the most common type of crime for the city of Silver Spring. Another rule was that the crime of vehicle theft from crimes against property was committed at a high rate in the spring.

4. CONCLUSION

Today's perception of security tends towards preventing a crime that has not yet happened, rather than detecting a crime that has happened. This method, called the proactive method, makes it possible to predict possible crimes in advance. Crime data mining, which is used to prevent crime from occurring, has been used successfully in many studies. Our study also revealed a new practice in this area. In this study, criminal incidents were analyzed on actual data provided by the U.S. General Services Administration. Association rules were applied on 98272 criminal data. Rapid Miner and R Tool were applied to Apriori and FP-Growth Algorithms dataset and 325 rules were created. With the obtained rules, it has become possible to observe the relationships between the attributes that constitute the crimes. In this way, especially according to the results of the analysis, regions that need to be assigned more officers, time intervals can be

determined and the use of human resources in the security field can be optimized. In this way, it becomes possible to create safer habitats with the same resources. It may be possible to prevent these crimes before they occur by increasing the controls in the locations at which days and which times are determined to be more dangerous. Thus, the use of technology in a way that directly affects human life and improves the quality of life can be achieved. For example, according to the first rule we obtained from our data set, the city of Silver Spring has a high crime rate on Saturday nights. If more security checks are carried out in this city on Saturday night, meaning resources can be diverted at the right time, the projected crime rate could be reduced. In addition, rules have been obtained about what types of crimes and the scene of the crime. In the city of Silver Spring, significant associations were found between the type of crime (crime against property) characteristics in the Wheaton Police District. If more resources are allocated to the Wheaton Police District and measures are increased, the projected crime rate could be reduced.

With this application, an environment where new data can also be analyzed has been prepared and a pioneering method has been put forward for future studies.

REFERENCES

- [1] Benton, W. “ Encyclopedia Britannica”. Encyclopedia Britannica Inc, Vol. 1,1971.
- [2] Yu, C. H., Ward, M. W., Morabito, M., & Ding, W. (2011, December). Crime forecasting using data mining techniques. In *2011 IEEE 11th international conference on data mining workshops* (pp. 779-786). IEEE.
- [3] Merriam-Webster-Dictionary, <https://www.merriam-webster.com/dictionary> ,(09,2019).
- [4] Takçı, H., & Hayta, Ş. (2014). Suç Veri Madenciliği Yardımıyla Hırsızlık Suçları Hakkında Kural Çıkarımı. *Eleco Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, 694-699.
- [5] Brown, D. E. (1998, October). The Regional Crime Analysis Program (ReCAP): a framework for mining data to catch criminals. In *SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No. 98CH36218)* (Vol. 3, pp. 2848-2853). IEEE.
- [6] Turvey, B. E. (Ed.). (2011). *Criminal profiling: An introduction to behavioral evidence analysis*. Academic press.
- [7] Ünsal, Ö. (2011). *Mesleki alan seçimlerinin makine öğrenmesi algoritması kullanılarak belirlenmesi* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara).
- [8] Özkan, Y. (2008). Veri madenciliği yöntemleri: Papatya Yayıncılık.
- [9] Ergün, K. (n.d.). *Veri Madenciliğine Giriş*. Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, http://kergun.baun.edu.tr/veri_madenciligi_ceng_hafta1.pdf,(June 2019)
- [10] Chen, H., Chung, W., Qin, Y., Chau, M., Xu, J. J., Wang, G., ... & Atabakhsh, H. (2003, May). Crime data mining: an overview and case studies. In *Proceedings of the 2003 annual national conference on Digital government research* (pp. 1-5).
- [11] Ozgul, F., Atzenbeck, C., Celik, A., & Erdem, Z. (2011, July). Incorporating data sources and methodologies for crime data mining. In *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics* (pp. 176-180). IEEE.
- [12] Mason, S. J. (2019). *Analysis of Virginia Crime Data of the Year 2016 Using Data Mining Techniques* (Doctoral dissertation, North Carolina Agricultural and Technical State University).
- [13] Mittal, M., Goyal, L. M., Sethi, J. K., & Hemanth, D. J. (2019). Monitoring the impact of economic crisis on crime in India using machine learning. *Computational Economics*, 53(4), 1467-1485.
- [14] Thangamuthu, M. A., Vadivel, M. G., & Priyadharshini, M. A. (2019). Detecting Criminal Method using Data Mining.
- [15] Ma, L., Chen, Y., & Huang, H. (2010, November). AK-Modes: A weighted clustering algorithm for finding similar case subsets. In *2010 IEEE International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering* (pp. 218-223). IEEE.
- [16] Data.Gov: Montgomery County-America ,Crime, data.montgomerycountymd.gov,(March 2018).
- [17] Agrawal, R., & Shafer, J. C. (1996). Parallel mining of association rules. *IEEE Transactions on knowledge and Data Engineering*, 8(6), 962-969.
- [18] Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., & Uthurusamy, R. (Eds.). (1996, February). Advances in knowledge discovery and data mining. American Association for Artificial Intelligence.
- [19] Srikant, R., & Agrawal, R. (1997). Mining generalized association rules. *Future generation computer systems*, 13(2-3), 161-180.
- [20] Han, J., & Fu, Y. (1995, September). Discovery of multiple-level association rules from large databases. In *VLDB* (Vol. 95, pp. 420-431).
- [21] Zhao, Q., & Bhowmick, S. S. (2003). Association rule mining: A survey. *Nanyang Technological University, Singapore*, 135.
- [22] J. Han, M.Kamber. (2006).”Data Mining Concepts And Techniques Second Edition”, San Francisco:Morgan Kaufman.
- [23] Şeker, S. E. (n.d.). *Apriori Algoritması*. Bilgisayar Kavramlari, <http://bilgisayarkavramlari.com/2011/09/07/apriori-algoritmasi/> , (November 2019)
- [24] Borgelt, C., & Kruse, R. (2002). Induction of association rules: Apriori implementation. In *Compstat* (pp. 395-400). Physica, Heidelberg.
- [25] Han, J., Pei, J., & Yin, Y. (2000). Mining frequent patterns without candidate generation. *ACM sigmod record*, 29(2), 1-12.
- [26] Foundation,What is R?, <https://www.r-project.org/about.html>,(November 2019)
- [27] RapidMiner,Data Mining Tools, <https://RapidMiner.com/glossary/data-mining-tools>,(November 2019).
- [28] Hofmann, M., & Klinkenberg, R. (Eds.). (2016). RapidMiner: Data mining use cases and business analytics applications. CRC Press.

Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)/Atık Üre Formaldehit Polimer Karışımlarının Mekanik Özellikleri

Mechanical Properties of HDPE/Waste Urea Formaldehyde Polymer Blends

Münir TAŞDEMİR 

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisine ağırlıkça % 5, 10, 20 ve % 30 oranlarında öğütülmüş üre formaldehit tozu katılmış ve ekstrüde edilmiştir. Daha sonra elde edilen karışımlar kurutulmuş ve enjeksiyon makinesinde test numuneleri basılmıştır. Test numunelerine çekme, sertlik, darbe ve yoğunluk testleri yapılmıştır. Dolayısıyla polimer karışımında üre formaldehit toz oranının artmasıyla elastiklik modül değeri, kopma mukavemeti, akma mukavemeti, % uzama miktarı, sertlik değeri ve yoğunluk değerlerinin nasıl değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca üre formaldehit partiküllerinin yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde nasıl dağıldığını belirlemek için SEM mikroyapı fotoğrafları çekilerek mikroyapı analizleri yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yüksek Yoğunluklu Polietilen, Üre Formaldehit, Mekanik Özellikler, Polimer Karışımı

Abstract

In this study, high density polyethylene matrix contributes to ground urea formaldehyde powder is handled as 0, 5, 10, 20 and 30 wt% ratio will be mixed in the extruder. The mixtures obtained were then dried and test samples were molded in the injection machine. Mechanical and morphological tests will be applied such as elasticity modulus, yield strength, tensile strength at break, % elongation, Izod impact strength, hardness and density. Also, SEM examination will be conducted to evaluate the microstructure of urea formaldehyde particles as well as material distribution in these experiments.

Keywords: High Density Polyethylene, Urea Formaldehyde, Mechanical Properties, Polymer Blends.

I. GİRİŞ

Polimer karışımları son yıllarda yoğun olarak incelenmektedir. Bazı polimer karışımlarında sertlik ve tokluk arasında iyi bir dengenin kurulması istenir. Çoğu sentetik polimerlerde sertlik ani bir yüklemde kırılma ve çatlak büyümesi ile karakterize edilir. Bundan dolayı kırılma malzemeleri sağlamlaştırmak için birçok araştırma yapılmaktadır [1]. Polimer karışımlarının kullanımındaki artışın sebebi esas olarak polimer karışımındaki matrisin özelliklerini başka bir ürün ekleyerek iyileştirmekten kaynaklanmaktadır. Polimer karışımlarının özellikleri doğrudan mikro yapıları ile ilgilidir [2]. Geri dönüştürülmüş plastik potansiyel olarak en ucuz polimer malzemelerdir. Ancak geri dönüştürülen plastikler genel olarak yeterli düzeyde performans göstermemektedir. Polimer matrisine bir miktar ilave madde katılımı ve bunların bir bağlayıcı ile adezyonunun gerçekleştirilmesi ve dolayısıyla üstün mekanik özelliklere sahip bir ürün geliştirme fikri yaygın bir uygulamadır [3]. Polimer kullanımı atık miktarının artmasına ve küresel olarak ciddi bir çevreyi kirletme sorunu haline gelmesine ve aynı zamanda petrol kaynaklarının tükenmesine sebebiyet vermektedir. Birçok uygulamada termoset plastikler çapraz bağlı yapıda ve yüksek yoğunluklu olmaları nedeniyle uzun süreli kullanım için tercih edilen malzemelerdir. Fakat doğada zor bozundukları için de geri dönüşümlerinin sağlanması gerekmektedir. Üre formadehit gibi termoset polimerlerinin geri dönüşümü teknolojik zorluğu nedeniyle çözülmesi gereken acil sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda kullanımı artan termoset karışımları ve kompozit üretimi, atık malzeme miktarını büyük ölçüde artırmıştır [4]. Yüksek yoğunluklu polietilen

(HDPE) kendine özgü mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı yüksek tonajlı üretim ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendislik polimerlerine kıyasla düşük tokluğu, hava koşullarına dayanıklılığı ve çevresel stres çatlama direnci nedeniyle, birçok alanda uygulaması sınırlandırılmıştır. Bu dezavantajlarını iyileştirmek için HDPE'ye dolgu maddeleri katılarak güçlendirilmeleri sağlanmıştır [5-7]. Üre formaldehit (ÜF), toplam termoset reçine üretiminin yaklaşık % 15'ini oluşturur. Şu anda, ana uygulamalarından biri elektrikli ekipman, yemek takımı, düğmeler, kozmetik kapaklar ve şişeler dahil olmak üzere kalıplanmış ürünlerdir. Üre formaldehitin ısısal, kimyasal ve mekanik kararlılığının iyi olması büyük bir avantajdır fakat geri dönüşümü de zor bir plastiktir [8].

Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen matrisle ağırlıkça % 5, 10, 20 ve % 30 oranlarında öğütülmüş üre formaldehit tozu katılarak ekstrüde edilmiştir. Daha sonra elde edilen polimer karışımları kurutulmuş ve enjeksiyon makinesinde standartlara uygun olarak test numuneleri basılmıştır. Test numunelerine çekme, darbe, sertlik ve yoğunluk gibi testler uygulanmış olup üre formaldehit tozlarının matris içerisindeki oranının artmasıyla elde edilen polimer kompozitinin elastiklik modülü, kopma mukavemeti, sertlik ve yoğunluk değerlerinde artışın olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık üre formaldehit tozlarının oranının artışıyla da kopma uzaması, akma mukavemeti ve darbe mukavemeti değerlerinde düşme gözlemlenmiştir. Ayrıca üre formaldehit partiküllerinin yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde homojen dağıldıkları SEM mikroyapı fotoğrafları çekilerek belirlenmiştir.

II. DENEYSEL

2.1 Kompozisyon ve Malzemeler

Üre formaldehit tozu oranının değişmesiyle beş farklı polimer karışımı hazırlanmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilen/üre formaldehit polimer karışımının karışım oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. HDPE/Atık üre formaldehit polimer polimer karışımının ağırlıkça karışım oranları

Gruplar	Yüksük yoğunluklu polietilen (HDPE) (Ağ.%)	Atık üre formaldehit (ÜF) (Ağ. %)
1	100	-
2	90	5
3	85	10
4	75	20
5	65	30

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) (I-668 UV) Petkim'den (İzmir/ Türkiye) temin edilmiştir. Bu malzemenin

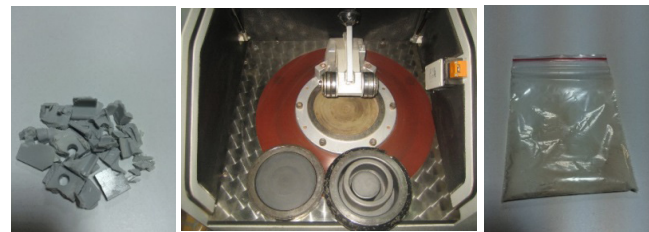
yoğunluğu $0,97 \text{ g/cm}^3$ olup erime akış indisi ise $5,2 \text{ g/10 dak}'dır$ ($190^\circ\text{C}-2.16 \text{ kg}$). Bunlara ek olarak akma mukavemeti 28 MPa olup çentikli Izod darbe mukavemeti ise oda sıcaklığında 12 kJ/m^2 'dir. Atık üre formaldehit ise Şekil 1'de resmi de verilen parçalardan toz haline getirilmiş olup Viko-Panasonic Co. (İstanbul Türkiye) firmasından temin edilmiştir.

2.2 Numune Hazırlama

Atık üre formaldehit parçaları Siemens simatic C7-621 marka öğütücüde öğütülerek toz haline getirilmiştir. Yapılan elek analizi sonuçlarına göre bu partiküllerin boyut dağılımı $10-80\mu\text{m}$ aralığında olduğu belirlenmiştir. Daha sonra atık üre formaldehit tozları HDPE ile karışım öncesinde 24 saat boyunca 105°C 'de Yamato ADP-31 (Yamato/VWR Scientific Products, Japan) marka vakumlu fırında kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında yüksek yoğunluklu polietilen ve üre formaldehit tozları Patterson LB-5601 marka katı karıştırma cihazında (The Patterson-Kelley Co., Inc. east Stroudsburg – USA) 20 dakika boyunca karıştırılmıştır. Değişik oranlardaki HDPE/ÜF karışımları daha sonra ekstrüzyon makinasında eriyik olarak karıştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Mikrosan marka (Mikrosan A.Ş. Kocaeli – Türkiye) çift vidalı bir makine kullanılmıştır. Burada kullanılan ekstrüzyon sıcaklığı $190-220^\circ\text{C}$, ekstrüzyon basıncı $25-35 \text{ bar}$ ve vida dönme hızı ise $20 \text{ dev/dak}'dır$. Ekstrüzyon işlemi sonrasında numuneler tekrar 24 saat boyunca 105°C 'de fırında kurutulmuştur. Kurutma sonrasında test numuneleri enjeksiyon makinasında basılmıştır. Tablo 2'de enjeksiyon ve ekstrüzyon işlem parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. HDPE/Atık üre formaldehit polimer karışımının enjeksiyon ve ekstrüzyon işlem parametreleri

İşlem	Ekstrüzyon	Enjeksiyon
Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	190–220	190–220
Basınc (bar)	25-35	110–130
Kalıpta bekleme süresi (s)	-	20
Vida hızı (dev/dak)	20	20
Kalıp sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	-	40



Atık ÜF

Öğütme

Toz ÜF

Şekil 1. Atık üre formaldehit toz yapım aşamaları

2.3. Karakterizasyon

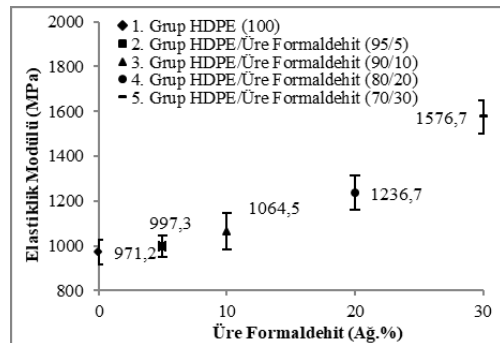
Elde edilen polimer kompozitinin çekme testleri ASTM D638 standardına göre yapılmıştır. 10 kN kapasiteli Zwick Z010 (Almanya) marka çekme test cihazı kullanılmış olup çekme hızı 50 mm/dak'dır. Dolayısıyla çekme testi ile elastiklik modülü, kopma mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Yedi adet numune test edilmiş aritmetik ortalamaları alınmıştır. Burada ortalamayı etkileyecek en yüksek ve en düşük değerler hesaba katılmamıştır. Sertlik testleri ASTM D2240 test standardına göre Zwick marka durometer sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. 10 ölçüm alınmış olup ortalamaları verilmiştir. Izod darbe testi ASTM D256 standardına göre oda sıcaklığında yapılmıştır. Zwick B5113 marka darbe test cihazı kullanılmış olup yedi adet numune test edilmiş ve ortalamaları verilmiştir. Yoğunluk deneyi ISO 2781 standardına göre yapılmıştır. SEM mikroyapı fotoğraflarının çekimi için darbe testi kırık yüzeyleri 20 Å kalınlığında altın/paladyum alaşımıyla elektron şarj oluşumunu engellemek için Polaron SC7640 marka (İngiltere) cihaz ile kaplanmıştır. Kaplama sonrasında kırık yüzeyler FEI Sirion XL30 FEG (Hollanda) taramalı elektron mikroskobu ile 5 ve 20 kV altında incelenmiştir.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

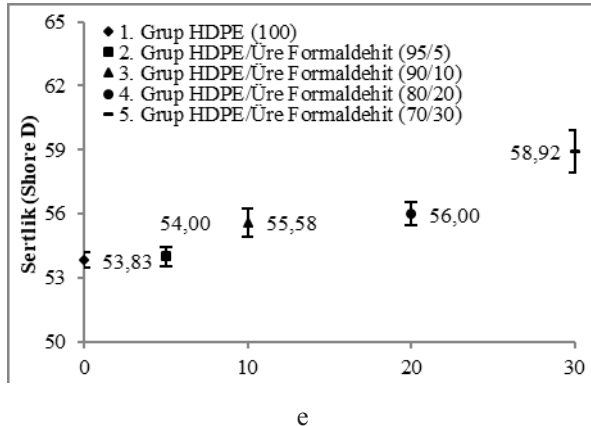
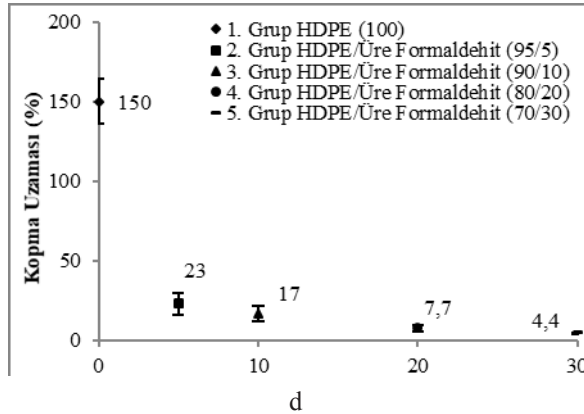
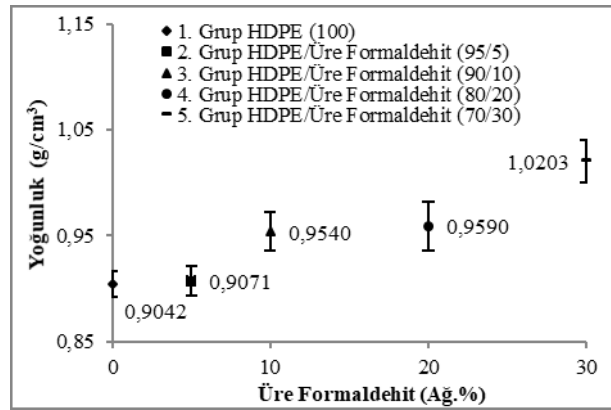
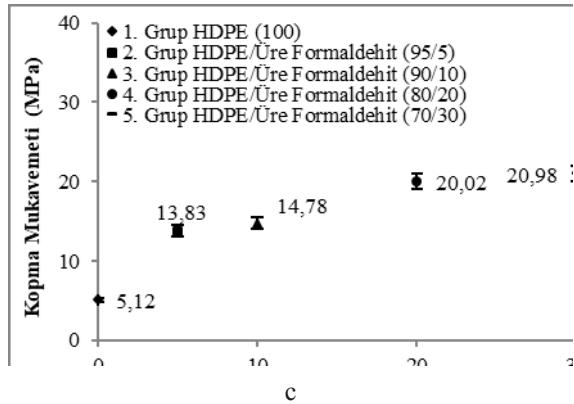
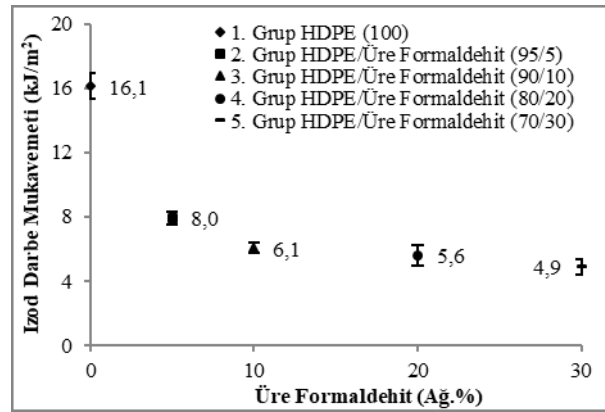
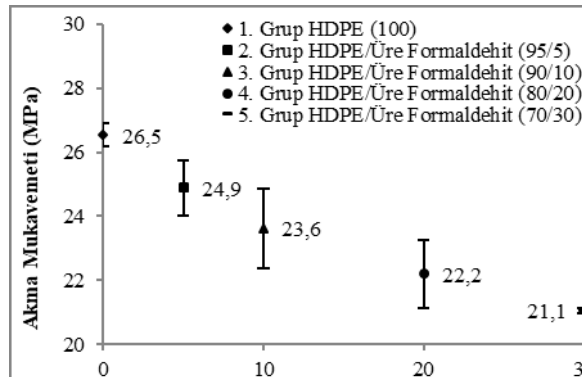
3.1 HDPE/ÜF Polimer Karışımının Mekanik Özellikleri

Yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisine üre formaldehit tozlarının ilavesiyle elde edilen polimer karışımının elastiklik modül değerindeki değişimi gösteren grafik Şekil 2a'da verilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı gibi üre formaldehit toz oranının artmasıyla polimer karışımının elastiklik modül değerinin arttığı görülmektedir. En yüksek elastiklik modül değeri %30 üre formaldehit tozu katkılı grupta elde edilmiştir. Bu değer saf yüksek yoğunluklu polietilenin elastiklik modül değeri ile kıyaslandığında %62 oranında bir artışın olduğu görülmüştür. E Levin ve arkadaşların yapmış oldukları bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilene üre formaldehit ilavesiyle elde ettikleri polimer karışımında üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla elastiklik modül değerinin de arttığını tespit etmişlerdir. Bu sonuç burada yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir [8]. Şekil 2b'de ise üre formaldehit toz oranının artışıyla akma mukavemetindeki değişim gözükmektedir. Burada ise yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisine üre formaldehit tozunun katılmasıyla akma mukavemet değerinin düştüğü görülmektedir. En düşük değer %30 üre formaldehit ilaveli grupta olduğu tespit edilmiştir. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin akma mukavemet değeri ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %20 oranında bir düşüşün olduğu görülmektedir. Şekil 2c'ye bakıldığında üre formaldehit tozunun artmasıyla kopma mukavemetindeki değişim

gözükmektedir. Burada ise yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla kopma mukavemet değerinde bir artışın olduğu görülmektedir. En yüksek kopma mukavemet değerinin %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu belirlenmiştir. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin kopma mukavemet değeri ile kıyaslandığında yaklaşık %310 oranında artığı görülmektedir. Kopma mukavemet değerinin artmasının sebepleri arasında üre formaldehit tozlarının matris içerisinde homojen olarak dağılması sayılabilir. Şekil 2d'ye bakıldığında üre formaldehit tozlarının matris içerisinde oranının artmasıyla % uzama değerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi üre formaldehit toz oranlarının artmasıyla birlikte polimer karışımının % uzama değerinde bir düşüş gözükmektedir. En fazla düşüşün %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu tespit edilmiştir. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin % uzama değeri ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %97 oranında bir düşüşün olduğu görülmektedir. E Levin ve arkadaşların yapmış oldukları bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilene üre formaldehit ilavesiyle elde ettikleri polimer karışımında üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla % uzama değerinin düştüğünü tespit etmişlerdir. Bu sonuç burada yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir [8]. Şekil 2e'ye bakıldığında üre formaldehit tozunun matris içerisinde oranının artmasıyla sertlik değerlerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Yüksek yoğunluklu polietilen içerisinde üre formaldehit tozlarının oranının artmasıyla sertlik değerlerinde bir artışın olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değerinin ise %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu görülmektedir. Saf yüksek yoğunluklu polietilen sertlik değerini bununla kıyaslandığında bu değer %9 oranında arttığı gözükmektedir. Şekil 2f'de ise üre formaldehit tozlarının artışıyla polimer karışımının Izod darbe değerlerindeki değişim gözükmektedir. Burada ise matris içerisinde üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla bir düşüşün olduğu görülmektedir. En fazla düşüşün %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu şekilden anlaşılmaktadır. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin Izod darbe mukavemeti değeri ile kıyaslandığında yaklaşık %70 oranında düştüğü görülmektedir.



a

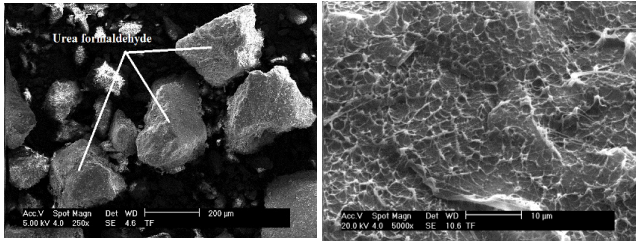


Şekil 2. HDPE/ÜF polimer karışımının mekanik özellikleri

Şekil 2g'ye bakıldığında ise üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla polimer karışımının yoğunluğunun nasıl değiştiği görülmektedir. Burada ise üre formaldehit toz oranının artmasıyla polimer karışımının yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek yoğunluk değeri %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu tespit edilmiştir. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin yoğunluk değeri ile kıyaslandığında bu değer yaklaşık %13 oranında arttığı görülmektedir.

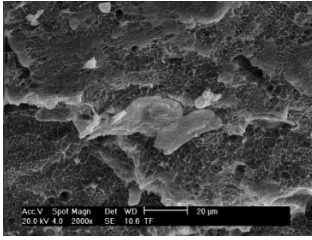
3.2 HDPE/ÜF Polimer Karışımının Mikroyapı Özellikleri

Yüksek yoğunluklu polietilen içerisindeki üre formaldehit tozlarının dağılımını belirlemek için taramalı elektron mikroskopisi ile kırık yüzey fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 3'de de görüldüğü gibi yüksek yoğunluklu polietilen matrisi ve üre formaldehit tozları açık bir şekilde gözükmemektedir. Fotoğraflardan da anlaşıldığı gibi üre formaldehit partikülleri yüksek yoğunluklu polietilen matrisi içerisinde homojen bir şekilde dağılmıştır.

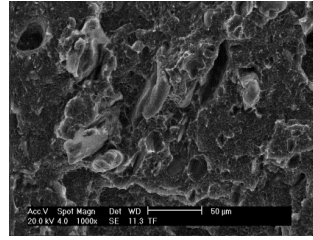


Üre formaldehit tozu

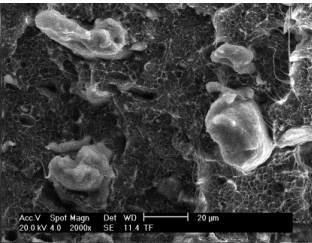
1. Grup (Saf HDPE)



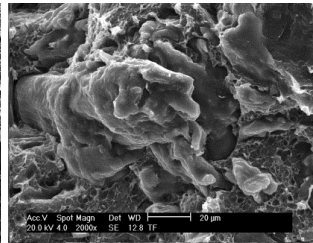
2. Grup HDPE/ÜF (95/5)



3. Grup HDPE/ÜF (90/10)



4. Grup HDPE/ÜF (80/20)



5. Grup HDPE/ÜF (70/30)

Şekil 3. HDPE/ÜF polimer karışımının SEM ile çekilmiş mikroyapı fotoğrafları

Sonuç olarak bu çalışmada atık üre formaldehitin yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde oranının artmasıyla elastik modülü değeri, akma ve kopma mukavemet değerleri, % uzama, sertlik, Izod darbe dayanımı ve yoğunluğu gibi mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda, yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde üre formaldehit tozunun artmasıyla birlikte elastiklik modül değeri, kopma mukavemet değeri, sertlik ve yoğunluk değerlerinin kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık matris içerisinde atık üre formaldehit

oranının artmasıyla akma mukavemeti değeri, % uzama ve Izod darbe dayanım değerlerinde ise bir düşüş gözlemlenmiştir. Mikro yapı fotoğraflarından ise üre formaldehit tozlarının HDPE matris içerisinde homojen olarak dağıldıkları belirlenmiştir. Burada üre formaldehit tozlarının kullanımı aynı zamanda atık olan bu ürünün yeniden neredeyse sıfır maliyette değerlendirilmesini sağlamaktadır. Diğer katkı malzemelerine kıyasla elde edilen karışımın maliyetini de düşürmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: FEN-C-YLP-091.116.0497).

KAYNAKLAR

- [1] Tasdemir, M., Karatop, S., (2006). Effect of styrene-isopren-styrene addition on the recycled polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene polymer blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 101, 559-566,
- [2] Liu, Z., Wang, J., Dai, X., Han B., , Dong, Z., G, Yang, Zhang, X., Xu (2002). Synthesis of composites of silicone rubber and polystyrene using supercritical CO₂ as a swelling agent. *J. Mater. Chem.*, 12, 2688.
- [3] Tasdemir, M., Miskioglu, I., (2016). Friction and wear behaviors of HIPS/SBS polymer blends *Int. J. of Mat. And Manufacturing*, Vol. 4/2, 95-99.
- [4] Thomas, R., Vijayan, P., Thomas, S., (2011). Recent Developments in Polymer Recycling, 121-153.
- [5] Wang Y, Shi J, Han L, Xiang, F (2009). Crystallization and mechanical properties of T-ZnOw/HDPE composites, *Mater Sci Eng A* , 501, 220-228.
- [6] Rothern RN (1995). Particulate-Filled Polymer Composites; Longman Scientific and Technical: Harlow.
- [7] Rothern RN (1999). Mineral Fillers in Thermoplastics: Filler Manufacture and Characterisation, *Mineral Fillers in Thermoplastics* 139, 67-107.
- [8] Evelin, D. B., Chris, C. W., Montgomery, T. S., (2000). Mechanical properties of blends of HDPE and recycled urea formaldehyde resin, *Journal of Applied Polymer Science*, 77, 3220-3227.

3 Boyutlu Yazıcı Sistemine Monte Edilmiş TIG Kaynak Mekanizması

TIG Welding Mechanism Mounted on 3D Printing System

Murathan KALENDER¹, Halil ULUPINAR², Ali Alparslan ÇELİK², Yahya BOZKURT², Serdar SALMAN²

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye

Öz

Tungsten Inert Gas (TIG) kaynak tekniği günümüzde en çok kullanılan kaynak tekniği yöntemlerinden biridir. Yöntemde genellikle argon gazı kullanıldığı için argon kaynağı olarak da bilinmektedir. Ergimeyen bir elektrot çeşidi olan tungsten elektrot sayesinde stabil bir ark oluşturulmaktadır. TIG kaynağı yöntemi ile kaynak dikişi, kaliteli ve cürüfsüz şekilde meydana gelmektedir. Diğer kaynak yöntemlerine göre ilerleme hızı daha düşük olan TIG kaynak yöntemi ince ve hassas malzemeler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır gibi malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır. TIG kaynak tekniğinde yüksek sıcaklık girdisi, malzemelerin çarpılması, torçtaki ve ilave teldeki el hareketi vb. gibi birtakım zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklarla karşılaşıldığında kaynak bölgesinde yüksek ısı girdisi, yetersiz nüfuziyet, kaynak oluşu vb. hatalar oluşmaktadır. Ayrıca TIG torcunun kaynak yapılacak yüzeyden sapmaması, kaynak yapılacak numunelerin stabil olması ve ark kararlılığı kaynak kalitesi için son derece önemli etkenlerdir. Bu nedenle kaynak dikişiyle beraber kaynaktaki el hareketi de önemli bir parametredir. Havacılık ve uzay sanayinde kullanılan ve kaynak tekniği ile birleştirilen malzemelere baktığımızda yüksek maliyetleri ürünler olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu parçalar üzerinde hata yapma olasılığı mümkün olduğunca düşük olması gerekir. Bu tür parçalarda, dikiş hareketleri ve kaynak hızları, parçanın mekanik özelliklerine doğrudan etki etmektedir. Bu çalışmada; ince ve hassas malzemelerin kaynak işlemini 3 boyutlu yazıcı tekniği ile gerçekleştirecek ve kaynaktaki dikiş sağlamlığını, ark kararlılığını ve gerekli nüfuziyeti oluşturabilecek bir makine prototipi üretilmiştir. Geleneksel lineer kaynak dikişi hareketinin yanında 3 boyutlu yazıcının eksenlerine bağlı farklı dikiş türleri ile de parçalarda kaynak işlemi gerçekleştirilebilir. Sistemdeki Z ekseni ise kaynaktaki ark boyunu ayarlayarak kaynaktaki ark kararlılığını sağlamıştır. Ayrıca kaynak parçalarındaki yüksek ısı girdisi nedeniyle oluşacak çarpılmalar, 3 eksen kaynak mekanizmasının tablasındaki ısı iletim katsayısı uygun olan malzemeler ile giderilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı, Ergitmeli Kaynak, Gazaltı Kaynak, Kaynak Teknolojileri, TIG Kaynağı.

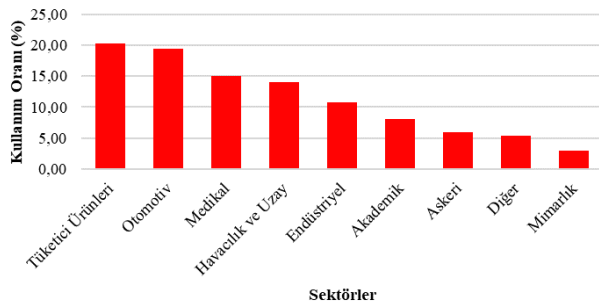
Abstract

Tungsten Inert Gas (TIG) welding technique is one of today's popular welding techniques. It is also known as argon welding because of argon gas usage during the welding process. Tungsten electrode which is a kind of non-melting electrode provides a stable arc generation. With the TIG welding method, quality and slag-free welding seam occurs. TIG welding method, which has a lower feed rate compared to other welding methods, is used for welding thin and sensitive materials, stainless steels, aluminum, copper. In TIG welding technique, there are a number of difficulties such as high temperature input, material distortion, and hand movement in the torch and additional wire. High heat input in the welding zone, insufficient penetration, welding groove etc. imperfections occur when these difficulties are encountered. In addition, none deviation of TIG torch from the welding surface, the uniformity of surface of welding samples and the arc stability are extremely important factor for welding quality. Hand movement during welding is an important parameter as well as welding seam quality. When we consider about the welded materials used for the aviation and aerospace industry, these are high cost products. So the probability of making mistakes on these parts should be as low as possible. In such parts, sewing movements and welding speeds affect directly the mechanical properties of the part. In this study; a machine prototype has been produced that will perform the welding process of fine and sensitive materials via 3D printer technique with required seam strength, arc stability and necessary penetration at the welding. Besides traditional linear sewing movements, different sewing movements connected with axis of 3D printer can be achieved to weld parts. The Z axis in the system has maintains the arc stability by adjusting the arc length. In addition, distortions due to the high heat input in the welding parts are eliminated via using 3D printer table materials whose heat conduction coefficient is suitable.

Keywords: 3D Printer, Melt Welding, Gas Welding, Welding Technology, TIG Welding.

I. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle beraber yeni uygulamalar ve yeni malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber katmanlı üretim yöntemleri de sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu teknolojinin daha erişilebilir hale gelmesinin ana nedenlerinden biri, üreticilere yeni 3 boyutlu (3B) baskı cihazları geliştirme olanağı sağlayan önceki patentlerin sona ermesidir. Son gelişmeler 3B yazıcıların maliyetini düşürmüştür ve böylece okullarda, evlerde, kütüphanelerde ve laboratuvarlarda yaygınlaşarak uygulama alanında geniş bir alana yayılmıştır. 3B imalat teknolojisi mühendislik, mimarlık ve endüstriyel tasarım alanlarında kullanılmaktadır. Eklemeli imalat sadece prototipler üretmek için değil, aynı zamanda makine parçaları ve kalıp takımları gibi ürünler elde etmek için de kullanılabilir [1-2]. 3B yazıcı teknolojisinin farklı sektörler içerisinde eklemeli imalatın dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Farklı sektörler içerisinde eklemeli imalatın dağılımı [1]

Metal baskıyı yaygınlaştırmak için bazı teknikler geliştirilmektedir. Geliştirilen bu yöntemlerden biri ise bir kaynak robotu, metal bir yüzey üzerine kaynak yapar gibi metal yığmaktadır. Metal yapıları 3B yazıcılarda yazdırmak için pahalı bir teknolojiyi satın alıp kullanmak yerine bu yeni geliştirilen yöntem sayesinde büyük yatırım masrafları ortadan kalkmaktadır [3].

TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağı, kullanım açısından geniş yelpazesi olan birleştirme yöntemidir. Demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımların çok büyük bir kısmının birleştirilmesinde kullanılabilir. Ayrıca bütün kaynak pozisyonlarında sağlıklı sonuçlar alınabilmektedir. TIG kaynağı ince levhaların kaynağında çok başarılı sonuçlar vermesinin yanı sıra kalın parçaları kolaylıkla birleştirebilmektedir. Ergimeyen tungsten elektrot kullanılması, gerektiğinde esas metal ergitilerek, ilave kaynak metaline olan gereksinimi de ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca kaynak banyosu kontrol edilebildiği için banyo üzerinde cüruf oluşumu engellenerek dikişte cüruf kalma tehlikesi ortadan

kalkmaktadır. [4]. Kaynaklı birleştirmenin mekanik özellikleri göz önüne alındığında, yapılan kaynak işleminin türü, ısı girdisi, kaynak pasosu, kaynak hızı ve dikiş hareketi gibi parametreler, kaynağın mikro yapısını etkileyerek kaynak bölgesinin özelliklerini değiştirmektedir. Bu parametreler uygun seçilmediğinde veya sağlıklı uygulanmadığında ana metaller olumsuz etkilenmekte olup kaynak dayanımını düşürmektedir [5-6].

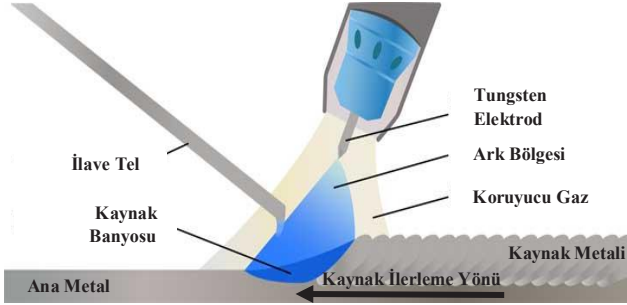
Kaynak ergime bölgesindeki kaynak dikişi, kaynak metalinin katılaşması sırasında bulunduğu durumdan dolayı kaba taneli yapıyı da içerir. Bu durum kaynak bölgesinin dayanımını düşürüp kaynak edilen numunede çatlak oluşma ihtimalini artırır. Çok fazla ısı girdisi oluşmasında kaynak dikişi üzerindeki soğuma kontrol altına alınmalıdır. Kontrol altına alınan sıcaklık katılaşma mikro yapısı üzerinde de etki sağlayacaktır. TIG torcunun kaynak yapılacak yüzeyden sapmaması, kaynak yapılacak numunelerin stabil olması ve ark kararlılığı kaynak kalitesi için son derece önemli etkenlerdir. Bu nedenle kaynak dikişiyle beraber kaynaktaki el hareketi de önemli bir parametredir [7-9].

Bu çalışmanın amacı ince ve hassas malzemelerin kaynak işlemini 3B yazıcı tekniği ile gerçekleştirip, kaynaktaki gerekli dikiş sağlamlığını, ark kararlılığını ve nüfuziyeti oluşturabilmektir. Sistemdeki X ve Y eksenli kaynak torcunun düzlem üzerindeki dikiş hareketlerini ve kaynak hızını sağlayacaktır. Bu sistem birleştirilecek parçalar üzerinde sadece lineer bir dikiş atmayıp, geleneksel dikiş hareketlerinden farklı olarak sistemde belirlenen dikiş türleriyle de kaynak yapabilecektir. Sistemdeki Z eksenli ise kaynaktaki ark boyunu ayarlayarak kaynaktaki ark kararlılığını sağlayacaktır. Kaynak mekanizması amacına uygun kullanılmak üzere paslanmaz çelik, bakır ve alüminyum üzerinde yapılan kaynaklarda, kaynak hızı parametresi belirlemede yardımcı olacaktır.

II. TIG KAYNAK YÖNTEMİ

TIG kaynak yöntemi kaynak kalitesi olarak diğer kaynak yöntemlerine göre daha estetik ve temiz bir dikiş görünüşü sunmaktadır [10]. TIG kaynak yöntemi ile demir dışı metallerin kaynağında nüfuziyetli bir birleştirme oluşturulduğu gibi paslanmaz çeliklerin kaynağında da son derece kaliteli ve pürüzsüz bir kaynak dikişi sağlanmaktadır. TIG kaynak yönteminde ergimeyen elektrot adı verilen elektrot kullanılmaktadır ve ana metal ile elektrot arasında oluşan ark sayesinde birleştirme gerçekleştirilmektedir. Ark bölgesi atmosfer ortamındaki istenmeyen gazlardan soy gazlar veya alaşım gazları sayesinde korunmaktadır [11]. TIG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre birçok avantajı olduğu gibi bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır.

Özellikle ilerleme hızının diğer yöntemlerine göre yavaş olması toplam verimi düşürdüğü için bu kaynak yönteminin seri üretimde kullanılabilirliği kısıtlanmıştır. Bununla beraber kalın kesitli malzemelerde tek pasoda geçişin yetersiz nüfuziyet oluşturması bu yöntemin daha çok ince parçaların kaynaklı birleştirmelerinde kullanılmasına neden olmuştur [12]. TIG kaynağının şematik gösterimi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. TIG kaynağının şematik gösterimi [13]

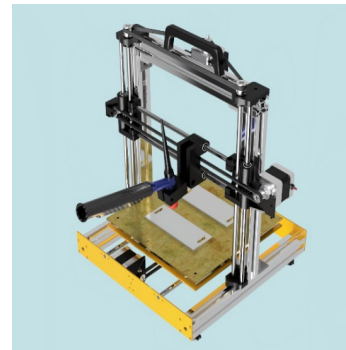
Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi TIG kaynak yönteminde de malzemenin cinsine en uygun kaynak parametreleri belirlenmeli ve belirlenen bu parametrelere kaynak esnasında bağlı kalınması gerekmektedir. TIG kaynaklı birleştirme işlemi sırasında uygulanan çeşitli değişkenler kaynak dikişinin geometrik yapısının kalitesinde önemli olduğu gibi kaynak metalinin mikro yapı ve mekanik özelliklerini de önemli ölçüde etkilemektedir [14]. İlerleme yönü ve hızı, torç tutuş açısı, kaynak amperi, koruyucu gaz cinsi, ark mesafesi, kaynak gerilimi ve birleştirme dizaynı gibi çeşitli parametrelerin TIG kaynak banyosunun geometrik görüntüsünde önemli ölçüde fark yarattığı bilinmektedir. Özellikle ilerleme hızı ve kaynak akımı bu parametrelerden en önemlileri olup kaynak genişliğini, nüfuziyet derinliğini, ısı girdisi miktarını direkt olarak etkilemektedir. TIG kaynak makinelerinde bulunan darbeli ark (pulse) yöntemi kullanıldığında birleştirme esnasında nüfuziyet miktarı önemli ölçüde artarken, malzemede oluşan toplam ısı girdisi miktarı minimum seviyede kalmaktadır [15]. Ayrıca kaynak sırasında numunelerin titreşimini önlemek için uygun kelepçe ve fikstürler kullanılmalıdır [16]. Bu yöntem ile ince kesitli parçalar distorsiyona maruz kalmadan düşük ısı girdisi ile optimum nüfuziyet sağlanarak birleştirilmektedir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar da birçok araştırmacı farklı kaynak yöntemleri, birleştirme dizaynları ve parametreler kullanarak kaynaklı birleştirme işlemini gerçekleştirmiştir. Seçilen parametrelerin kaynak metalinde oluşturduğu nüfuziyet derinliği ve esas metaldeki distorsiyon miktarı incelenmiştir

[17]. Bileşiminde aynı kimyasal kompozisyonları barındıran paslanmaz çeliklerin kaynağında ilerleme hızı, tutuş açısı, kaynak akımı gibi parametrelerde meydana gelen az miktarda farklılıklar bile kaynak esnasında banyodaki metal akış düzenini önemli ölçüde etkilemektedir [18]. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gaz türünün kaynak kompozisyonundaki nüfuziyet derinliği ve genişliğindeki etkisinin büyük olduğu gözlemlenmiştir [15].

III. YÖNTEM

Bu çalışmada; ince ve hassas malzemelerin kaynak işlemini 3B tekniği ile gerçekleştirecek ve kaynaktaki dikiş sağlamlığını, ark kararlılığını ve gerekli nüfuziyeti oluşturabilecek bir makine prototipi üretilmiştir. Bu sistem ile birleştirilecek parçalar üzerinde sadece lineer bir dikiş atmayı, geleneksel dikiş hareketlerinden farklı olarak yazıcı sistemindeki eksen hareketleriyle dikiş türleriyle de kaynak yapılabilmektedir. Sistemdeki Z eksenine ise kaynaktaki ark boyunu ayarlayarak kaynaktaki ark kararlılığını sağlamıştır. Ayrıca kaynak parçalarındaki yüksek ısı girdisi nedeniyle oluşacak çarpılmalar, 3 eksen kaynak mekanizmasının tablasındaki ısı iletim katsayısı uygun olan malzemeler ile giderilmiştir. Çalışmada prototip cihaza Magmaweld Monotig 160ip tipi kaynak makinesi bağlanmıştır.

3B yazıcının kaynak mekanizması Autodesk Fusion 360 ve SolidWorks programı ile tasarlanmıştır. Çalışmada tasarlanan ve üretilen yazıcının Autodesk Fusion 360 yazılımındaki görüntüsü Şekil 3’te verilmiştir. Hazırlanan mekanizmanın genel özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

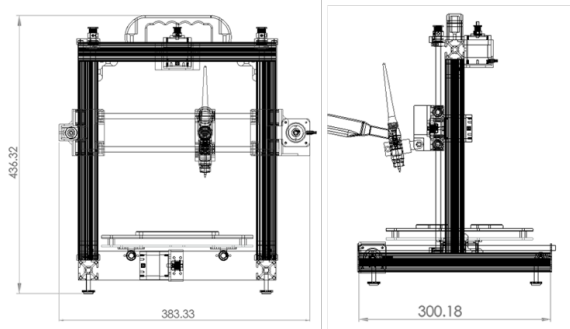


Şekil 3. Mekanizmanın Autodesk Fusion 360 programındaki görüntüsü

Tablo 1. Hazırlanan mekanizmanın genel özellikleri.

Kaynak Tablası Ölçüleri	230x230mm
Fikstür Malzemesi	Pirinç ve alüminyum plaka.
Kaynaklanabilir Sac Kalınlığı	< 2mm
Diğer Özellikler	Taşınabilir, ergonomik, özel fikstür tasarımı.

Mekanizma ince sac malzemelerin kaynatılması amacıyla tasarlanmış olup, montajların tamamlanmış halindeki gövde ölçüleri mm cinsinden Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Mekanizmanın gövde ölçüleri

TIG Kaynak Mekanizması Prototipinin Mekanik Montajı

TIG Kaynak mekanizma montajında, montaj kısmı mekanik ve elektronik olmak üzere iki kısımda tamamlanmıştır.

Gövde montajı

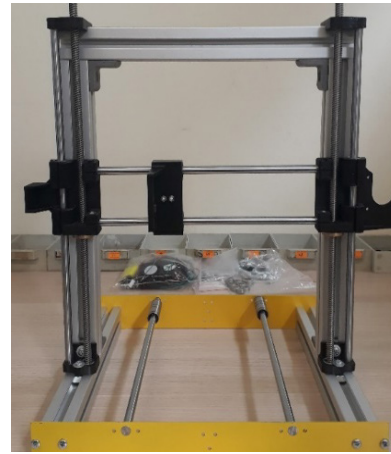
Öncelikle tedarik edilen malzemeler içerisinde gövdeyi inşa etmek için önemli olan alüminyum sigma profiller birleştirilmiştir. Ana gövde bu şekilde oluşturulmuştur. Alüminyum sigma profiller köşe bağlantı elemanları ile birlikte birbirlerine montaj edilmiştir. Böylelikle daha rijit bir gövde oluşturulmuştur. Gövde için gereken alüminyum sigma profiller 30mm x 30mm genişliğinde 300 mm boyundadır. Sonrasında gövdeyi sabitlemeye yarayan, CNC'de imal edilmiş yataklar sabitlenmiştir. Şekil 5'te çalışmada kullanılan TIG kaynak mekanizması prototipi için hazırlanan gövde gösterilmiştir. Yazıcı gövdesi inşası temel hatları ile bitirilip ve sonrasında hareket eksenleri ve eksen taşıyıcı parçalar montajlanmıştır. Alüminyum sigma profilde boşluk kalan bölgelerin temizliği açısından kanal fitilleri monte edilmiştir. Gövde sonrasında kademeli olarak sağlamlaştırılarak civatalar kontrol edilmiştir. Titreşim sönmüleyici 4 adet plastik ayak, alüminyum sigma profillerden oluşan gövdeye M6 civatalar ile monte edilmiştir.



Şekil 5. Alüminyum sigma profiller ile oluşturulan gövde

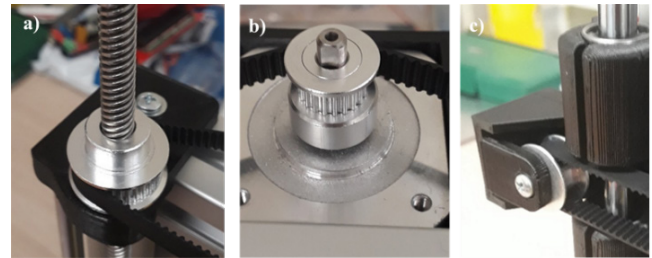
Hareket eksenleri montajı

Çalışmada z eksenini önemli parçalarından olan kılavuz millerin montajı yapılmıştır. Üst kılavuz miller için doğru- dan alüminyum sigma profiller üzerine mil tutucu parçaların montajı yapılmıştır. Ardından z eksenini için hareket kontrolünü sağlayacak olan trapez miller ve somunları yerleştirilip, üst taraftan sabitlenmiştir. Yuvalarına yerleştirilen tekerlek ve lineer rulmanlardan sonra x, y ve z eksenindeki indüksiyon ile sertleştirilmiş kromlu çelik miller yerleştirilmiştir. Alüminyum sigma profillere motor tutucu, mil tutucu, kasnak tutucu parçalar da sabitlenmiştir. Eksenlerin montajı sonrası görüntü Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Eksenlerin montajı sonrası görüntü.

Motorlardan gelen hareketi millere aktaran uygun kasnakların montajı yapılmıştır. Sistemde 3 adet motor kasnağı, 2 adet mil kasnağı ve 2 adet avare kasnak kullanılmıştır. Zamanlama kayışı ile birlikte montajı yapılmıştır. Kasnak ve kayışlar Şekil 7'de gösterilmiştir.

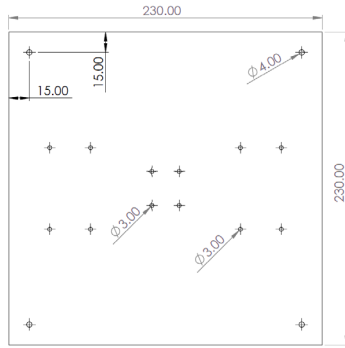


Şekil 7. Kayış kasnak düzeneği, a) trapez mil kasnağı, b) motor mili kasnağı, c) avare kasnak

Kaynak fikstürünün montajı

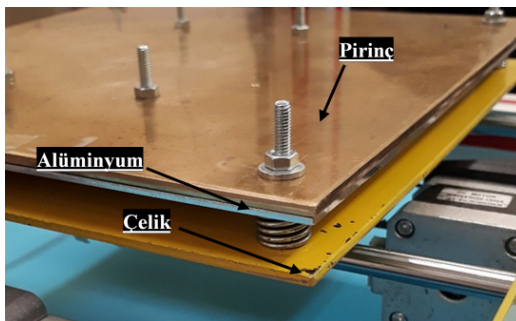
Kaynak tablası, ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemedir hazırlanmış olup çeşitli geometrileri ile birlikte yüksek ısı girdisini azaltacak niteliktedir. Fikstür grubunun

temelinde 230x230 mm kesitinde ve 3 mm kalınlığında siyah sac bulunmaktadır. Bu malzeme fikstürün dayanımını sağlamak için kullanılmıştır. Yukarı doğru çıkıldıkça 4 adet yatak yardımıyla 10 mm boşluk bırakılmıştır. Bu boşluk hem elektrik yalıtımı hem de ısı girdisini azaltmak üzere tasarlanmıştır. Üst katmanda 230x230 mm kesitinde ve 1.5 mm kalınlığında alüminyum AA1050 alaşımı kullanılmıştır. Burada kaynak bölgesinden gelen ısıyı hızlı bir şekilde dışarı atmak önemli bir husustur. Aynı zamanda ani soğumayı da önlemek gerekmektedir. Kaynak işlemi, haddelenmiş pirinç malzeme üzerine yapılacaktır. Daha önceki yapılan çalışmalara göre [10], kaynak fikstüründeki pirinç malzeme, hem ısı girdisini azalmaktadır. Ayrıca kaynak yapılan parçanın da fikstüre yapışmasını engellemektedir. Alüminyum ve pirinç levha ölçüleri Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Alüminyum, çelik ve pirinç malzemelerinde imal edilen levhaların teknik çizimi

Fikstürün en üst kısmında pabuç olarak 5 mm kalınlığında AA2024 alaşımı kullanılmıştır. Bu pabuçlar kaynak yapılan parçanın hem ısı girdisini azaltacak, hem de fiziksel olarak parçaya temas edip çarpılmasını önleyecektir. Bu pabuçlar 2. kattan itibaren civatalar ile sabitlenmiştir. Tüm fikstür katları köşelerden, pabuçlar ise orta bölümden vidalanmıştır. Kaynak fikstürü prototipi Şekil 9’da gösterilmiştir.

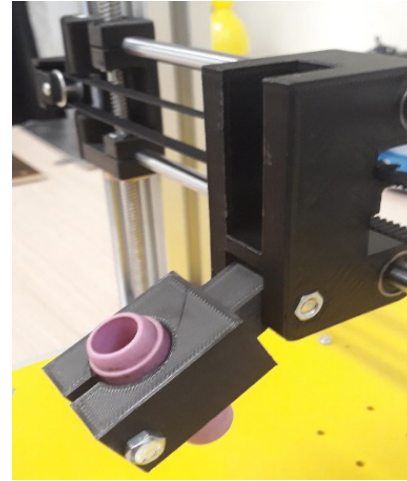


Şekil 9. Alüminyum, çelik ve pirinç malzemelerden imal edilen levhalar

Kaynak torç tutucu montajı

Kaynak torcunun tasarımında hareketli açı veren ve gerekli kodlamalar dahilinde çeşitli hareketler (zig-zag vb.) yapabilen bir sistem tasarlanmıştır. Bu açı kaynatılan malzemenin kalınlığına ve cinsine göre değişebilmektedir. Ark boyu ve kararlılığının sağlıklı olabilmesi için torç açısının iyi bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Kaynak torcu montajında x eksenine sabit kayar sistem kullanılmıştır. Bu parçaya M5 civata ve somun kullanılarak kaynak torcunu tutan parça monte edilmiştir. Kaynak torcunu tutan parçada, nozulu sıkması için yine M5 civata ve somun kullanılmıştır. Tasarlanan ve monte edilen torç tutucu Şekil 10’da gösterilmiştir.



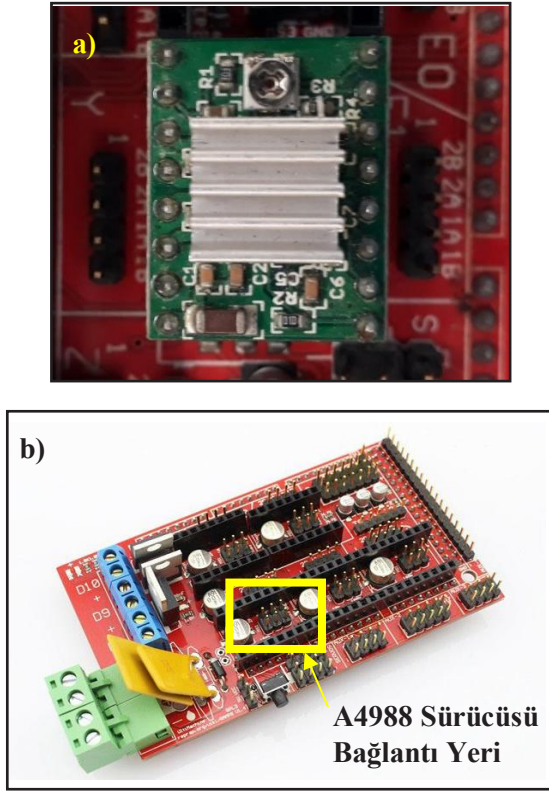
Şekil 10. Tasarlanan ve monte edilen torç tutucu

TIG Kaynak Mekanizması Prototipinin Elektronik Montajı

Elektronik montajda, adım motor, arduino ve ramps bağlantıları, limit elemanları, güç kaynağı elemanları ve LCD ekran elemanlarının montajları tamamlanmıştır. Elektronik montaj kendi arasında, adım motor ve sürücü bağlantısı, Arduino Ramps bağlantısı, limit anahtarlarının bağlantısı ve LCD kontrol ekranının bağlantısı başlıklarına ayrılmaktadır.

NEMA 17 Adım Motor ve Sürücü Bağlantısı

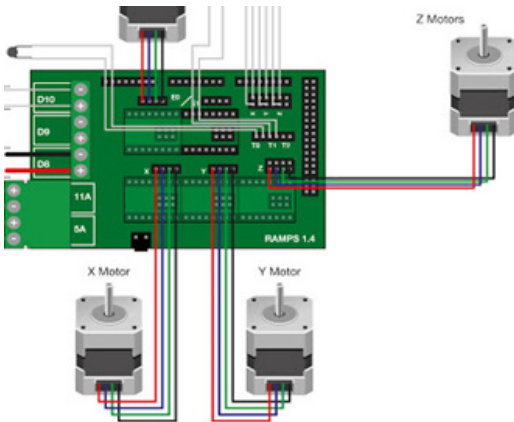
Adım motorlar çalışmada NEMA 17 olarak kullanılmıştır. Bu motorlar güçlü ve hızlı motorlardır. Sistemde motor sürücüsü olarak A4988 motor sürücüler kullanılmıştır. Motor sürücüler Arduino ve Ramps kartları ile doğrudan bağlantı yapılmıştır. Şekil 11’de motor sürücü ramps kart bağlantısı görülmektedir.



Şekil 11. a) Motor sürücüsü ve b) Ramps kart bağlantısı

3B yazıcılar genelinde NEMA 17 motorlar kullanılmaktadır. Bunun bize getirdiği kolaylık sistemin ekstruder motorları için kullanım kolaylığıdır. Arduino ve Ramps kartlarında standart NEMA 17 desteği ve çıkışları yer almaktadır. Aynı şekilde diğer girişlerde özel olarak desteklenmektedir.

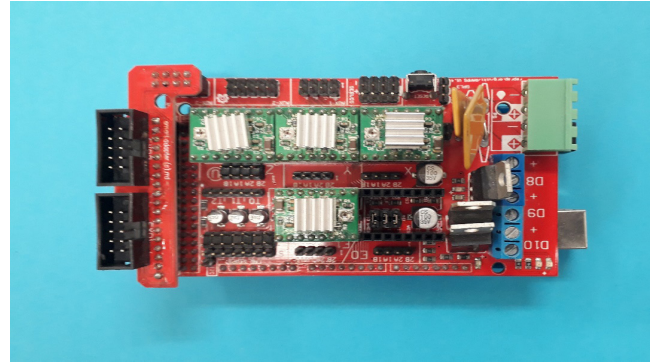
Çalışmada kullanılan NEMA 17 motorlar 4 kablolu motorlardır. Bu 4 çıkış kablosu doğrudan A4988 adım motor sürücüsü üzerindeki çıkışlara bağlanmıştır. Şekil 12’de motor sürücüsü ile NEMA 17 motorlar arası bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 12. NEMA 17 motorlar arası bağlantı şeması

Arduino Ramps Bağlantısı

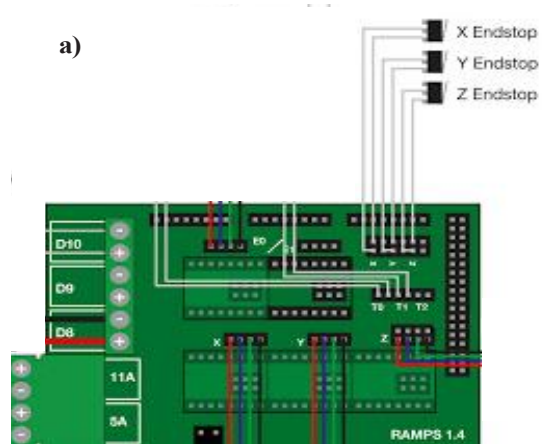
Ramps Arduino; 3B yazıcılarda oldukça sık kullanılan bir kontrol kartıdır. Arduino Mega modeli veya benzer pin dizilimine sahip bir çok kart ile beraber kullanılabilir olan Ramps, shield yapısı sayesinde Arduino Mega’nın direk olarak üzerine oturtularak kullanılabilir. Ürün üzerine 5 adet A4988 motor sürücüsü kartı takılarak uygun step motorların kontrolleri sağlanabilir. Arduino Ramps bağlantısı Şekil 13’te gösterilmiştir.



Şekil 13. Arduino Ramps bağlantısı

Limit (Sınırlayıcı) Anahtarlarının Bağlantısı

Arduino Ramps kartı üzerinde sınırlayıcı anahtar bağlanabileceği çıkışlar yer almaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ise kart üzerinde ikili sıralı yer alan erkek jumper çıkış uçlarına artı (+) ve eksi (-) uçlara dikkat edecek şekilde bağlantı yapılmalıdır. Aynı şekilde bir diğer önemli nokta ise bağlantılar arasında bir boşluk bırakarak bağlantı yapılmalıdır. Arduino Ramps ve sınırlayıcı anahtar bağlantıları Şekil 14’te gösterilmiştir.



SONUÇLAR

Bu çalışmada hafif ve dayanıklı bir iskelet ile beraber 3 eksendeki hareketi sağlayacak çeşitli güç ve güç aktarım elemanları kullanılmıştır. TIG kaynak hareketinin titreşimini azaltmak ve dikiş performansını arttırmak için çeşitli sönümleyici elemanlar eklenmiştir. Motordan çıkacak güç bağlantı elemanları ile hareketi iletip ve x, y ve z eksenlerindeki kaynak hareketini sağlamıştır. Bu eksenlerdeki kaynak hareketi, dikiş tasarımındaki G kod verileri ile sağlanmıştır. Kaynak tablası, ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemeden hazırlanıp çeşitli geometrileri ile birlikte yüksek ısı girdisini azaltmak için imal edilmiştir.

Fikstür, ince ve hassas malzemelerin kaynak işlemini 3B yazıcı tekniği ile gerçekleştirip, kaynaktaki dikiş sağlamlığını, ark kararlılığını ve gerekli nüfuziyeti oluşturabilmektedir. Sistemdeki x ve y eksenini kaynak torcunun düzlem üzerindeki dikiş hareketlerini ve kaynak hızının kontrolünü sağlamıştır. Bu sistem birleştirilecek parçalar üzerinde sadece lineer bir kaynak dikişi atmayıp, geleneksel hareketlerinden farklı olarak 3B yazıcı sistemindeki eksen hareketlerine bağlı dikiş türleriyle de kaynaklı birleştirmeler yapabilecektir. Sistemdeki z eksenini ise kaynaktaki ark boyunu ayarlayarak ark kararlılığını sağlamak üzere tasarlanmıştır.

TEŞEKKÜR

2209-A proje kapsamında verdiği finansal destekten ötürü TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığına (BİDEB) sonsuz şükranlarımızı sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] M. Kalender, Y. Bozkurt, S. Ersoy, S. Salman, "Product Development by Additive Manufacturing and 3D Printer Technology in Aerospace Industry", Journal of Aeronautics and Space Technologies, Vol. 13, No. 1, pp. 129-138, Jan. 2020.
- [2] M. Kalender, S.E. Kılıç, S. Ersoy, Y. Bozkurt, S. Salman, "Additive Manufacturing and 3D Printer Technology in Aerospace Industry", 2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), Istanbul, Turkey, 2019.
- [3] E. Karayel, Y. Bozkurt. "Additive manufacturing method and different welding applications", Journal of Materials Research and Technology, Volume 9, Issue 5, pp. 11424-11438, 2020.
- [4] Tülbentçi K. Gedik Eğitim Vakfı Kitapları MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı. Türkiye, 1990.
- [5] Shelwaker A, Madhusudhan G, Gokhale A. "Gas Tungsten Arc Welding Studies on Similar and Dissimilar Combinations of Al-Zn- Mg Alloy RDE 40 and Al-Li Alloy 1441". *Sci Technol Weld Joining*, 352-61, 2002.
- [6] Kahraman N, Durgutlu A, Gülenç B. "316 L Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağında Koruyucu Argon Gazına Hidrojen İlavesinin Kaynak Bölgesi Tane Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması". *G.Ü.T.E.F. Politeknik Dergisi*, Cilt 7, 223 - 228, 2004.
- [7] Kou S, Le Y, "Nucleation Mechanism and Grain Refining of Weld Metal". *Weld Journal*, 65-70, 1986.
- [8] Suresh M, Krishna B, Venugopal P, Prasad K. "Effect of Pulse Frequency in Gas Tungsten Arc Welding of Powder Metallurgical Preforms". *Science and Technology of Welding & Joining*, 9, 4, 362-368, 2004.
- [9] Kumar T. "Influences of Pulsed Current Tungsten Inert Gas Welding Parameters on the Tensile Properties of AA 6061 Aluminium Alloy". *Materials and Design*, 28 2080-2092, 2007.
- [10] H. Ulupınar, M. Kalender, E. Oruç, Y. Bozkurt, "TIG Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Farklı Boyuttaki Malzemeler İçin Portatif Fikstür Tasarımı ve Geliştirilmesi", Uluslararası Fen Matematik ve Mühendislik Bilimleri Kongresi, İzmir - Türkiye, 2019.
- [11] Modenesi P, Apolinaaria R, Pereira M. "TIG Welding with Single Component Fluxes". *Journal of Materials Processing Technology*, 99, 260-265, 2000.
- [12] Gürcan M. ,TIG Kaynağı SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü. Ankara, 1987.
- [13] TIG Kaynak Diyagramı Gösterimi www.diagramma.battistifano.it/diagram/tig-welding-diagram (20.02.2020)
- [14] Eşme U. Effect of Pool Geometry on the Quality of TIG Welded Joints. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [15] Kim S, Son S, Kim G, Kim Y, Kim S. "A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO2 arc welding". *Journal of Materials Processing Technology*, 136, 139-145, 2003.
- [16] M. Kalender, S.E. Kılıç, Y. Bozkurt, S. Salman, A. Turker, "Design and Development of Portable Fixture for Various Dimensions Specimens Joining by Friction Stir Welding", Orta Doğu Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Konferansı, Beyrut / Lübnan, 2019.
- [17] Murugan N, Gunaraj V. "Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes". *Journal of Materials Processing Technology*, 168, 478-487, 2005.
- [18] Aidun D, Martin A. "Effect of Sulfur and Oxygen on Weld Penetration of High-Purity Austenitic Stainless Steels". *JME-PEG*, 6, 496-502, 1997.

Yenilikçi Trokoidal Frezelemenin Kesme Performansı Üzerinde Etkilerinin Araştırılması: Bir Derleme Çalışması

Investigation of the Effects of Innovative Trochoidal Milling on Cutting Performance: A Review Study

Semih YÜKSEL¹, Mustafa AY²

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

Öz

Hızla gelişen küresel ekonomide üretim verimliliğini artırmak büyük bir önem taşımaktadır. Bu amaçla araştırmacılar işleme süreçlerinde, takım işleme sürelerini kısaltan ve takım ömrünü artıran, parametreler ve metotlar üzerine çalışmalarını yönlendirmişlerdir. Özellikle kalıplılık, otomotiv, havacılık ve medikal sektörlerinde takım işleme sürelerini düşürmek için takım yolları ve işleme parametreleri büyük rol oynamaktadır. Bununla ilgili olarak birçok optimizasyon çalışmaları yapılmış, yapılan çalışmalar neticesinde üretim verimliliğinin sadece takım ve tezgâh kalitesinin iyileştirilmesi ile değil, parçaya göre en uygun takım yolunun seçilmesi ve üretilmesi ile de mümkün olduğu ispatlanmıştır. Son zamanlarda bu işleme sürelerini düşüren üretim verimliliğini artıran alternatif bir takım yolu olan trokoidal frezeleme gitgide popüler bir işleme yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır. Trokoidal frezeleme kesilmesi zor ve zaman alan malzemelerin kolay işlenebilmesi için umut veren bir işleme teknolojisidir. Konvansiyonel frezeleme metoduna göre işlem süresini kısaltan bu yöntem araştırmacılar tarafından tam anlamıyla anlaşılammış ve araştırmaya açık bir alan olarak kalmıştır. Bu çalışmada, trokoidal frezeleme yönteminde yapılan araştırmalar neticesinde takımın yüksek kesim ve ilerlemesi ile uygun takım yolları araştırılmıştır. Araştırma neticesinde doğrusal kesme şartlarında işleme zor malzemelerin kesme esnasında takım ve malzemede sıcaklık değerleri yükselttiği, talaşın malzeme üzerinden ayırma hızını yavaşlattığı, ayrıca yüksek kesme hızlarından ve ilerlemelerden kaynaklanan kesme kuvvetlerinin artmasına bağlı olarak takım aşınma hızının arttığı ispatlanmıştır. Bu çalışmada, Trokoidal frezelemeye ait genel bilgi verilmiş, yakın zamanda yapılan çalışmalar değerlendirilmiş ve gelecekteki potansiyeli ve sağlayabileceği yararlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Trokoidal Frezeleme, Takım yolu, İşleme Süresi, Takım Aşınması.

Abstract

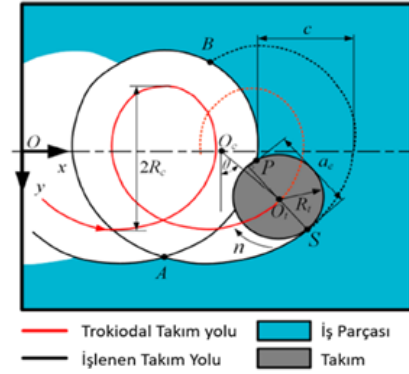
Increasing production efficiency is of great importance in the fast developing global economy. For this purpose, the researchers directed their studies on parameters and methods in their machining studies, which shorten the tooling times and increase the tool life. Tool paths and machining parameters play a major role in reducing tooling times, especially in the molding, automotive, aerospace and medical industries. Many optimization studies have been carried out in this regard, and as a result of the studies, production efficiency has been proved to be possible not only by improving the tool and machine quality, but also by choosing and producing the most suitable tool path according to the part. Trochoidal milling, which is an alternative tool way that has recently increased production efficiency, which has reduced these machining times, is becoming an increasingly popular machining method. Trochoidal milling is a promising machining technology for easy machining of difficult and time-consuming materials. This method, which shortens the processing time according to the conventional milling method, stands out as a field that is not fully understood by the researchers and is open to research. In this study, general information about Trochoidal milling is given and recent studies are evaluated and its future potential and po As a result of the research, it has been proved that the materials that are difficult to process under linear cutting conditions increase the temperature values in the tool and the material during cutting, the speed of separation of the sawdust from the material, and the tool wear speed increases accordingly as a result of the increase in cutting forces due to high cutting speeds and advances. In this study, general information about Trochoidal milling is given and recent studies are evaluated and its future potential and potential benefits are evaluated.

Keywords; Trochoidal Milling, Toolpath, Machining Time, Tool Wear

I. GİRİŞ

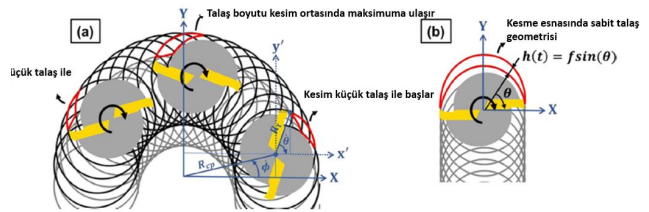
Küresel ekonominin büyümesiyle birlikte üretim verimliliğinin önemi giderek artarak önemli bir noktaya ulaşmıştır. Bu artış üretimin her aşamasında verimli ve maliyet yönünden olumlu etki edecek üretim ve işleme süreçlerinin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar yapan araştırmacıların sayısına yansımıştır. Araştırmacıların hedef noktalarından biri de frezeleme operasyonlarında işleme süresini düşüren, takım sarfiyatını azaltan, kaliteli ve verimli bir üretim gerçekleştirmektir. Özellikle üretimde bu verimliliğin artmasıyla, işlenmesi zor olan havacılık ve savunma sanayi parçalarındaki işleme süresi azaltılarak kalitenin artırılması önemli bir amaç haline gelmiştir. Frezede işleme süreçlerini düşürebilmek ve kaliteyi artırabilmek için kesme koşulları, takım yolları ve takımlar üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Sayısal kodlar ile donatılmış yüksek dinamik takım tezgahlarının ortaya çıkmasıyla birlikte, yüksek hızlı frezeleme işlemiyle ilgili talepleri karşılamak için yeni tür stratejiler artmıştır [1]. Bu çalışmaların artması ile son zamanlarda cad-cam programlarının gelişmesi ile işleme süresini kısaltmak için alternatif takım yolları bulunmuştur. Yüksek ilerleme ve devir ile yüksek verimlilik sağlayan takım yollarından biri de trokooidal takım yoludur. Trokooidal frezeleme, kesilmesi zor malzemelerin yüksek verimli işlenmesi için umut verici bir teknolojidir [2]. Trokooidal frezeleme, azaltılmış kesme kuvveti yükü ve daha iyi ısı dağılımı sayesinde, kesici takım ömrünü önemli ölçüde uzatmaya yardımcı olduğundan kanal işlemek için iyi bir yöntemdir. Ayrıca trokooidal frezeleme, geleneksel dairesel frezelemeye göre toplam işleme süresi ve talaş kaldırma oranı tarafından daha üstündür [3]. Trokooidal frezeleme; takım aşınması başına malzeme kaldırma oranını artırarak malzeme kesme enerjisini azaltıp takım performansını iyileştirirken, aynı zamanda verimlilik maliyetiyle birlikte alternatif bir yol olarak ön plana çıkmaktadır. Takımın düşük radyal kesme kuvvetlerine ek olarak, trokooidal frezelemenin nikel bazlı süper alaşımlar gibi zor kesilen alaşımların işlenmesinde arzu edilen bir takım yolu olmasını sağlamıştır [4]. Ayrıca trokooidal işlemede kesme kuvvetinin köşelerde ve dar yuvalarda takım aşınması üzerinde daha iyi kontrol sağladığı ispatlanmıştır [5]. Trokooidal takım yolu ile ilgili yapılan çalışmalarda takım yolunun farklılığı ve kesme kuvvetlerinde farklı değerler alması sebebiyle araştırmacılar tarafından tam anlamıyla anlaşılammış ve bundan dolayı bu yöntemin daha derinden araştırılması gerekliliğine vurgulanmıştır. Trokooidal frezeleme sürecini daha iyi anlamak ve üretim senaryolarını optimize etmek için kesme kuvvetlerinin modellenmesi araştırmaları yapılmıştır. Takımın konvansiyonel kanal açma prosesi boyunca izlediği lineer yollar yerine, dairesel olan bir takım yolu takip ederek

gerçekleştirdiği talaş kaldırma hareketine trokooidal frezeleme denmektedir [6]. Takım izlediği yol Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Trokooidal frezelemenin geometrik modeli. Burada o_t , takım merkezi konumudur. Takım merkezinin mevcut dönme merkezi; dönme açısıdır, C, trokooidal basamaktır; R_c , trokooidal yarıçaptır; R_t takım yarıçapıdır ve a_e , c 'nin mevcut radyal derinliğidir [2]

Trokooidal işleme metodunda, takım iş parçası ile hafif temas koşullarında (kesici takımın sadece takım ağız teması) trokooidal bir yol izleyerek iş parçasının hassas bir şekilde dilimlenerek işlenmesini sağlar [7]. Bununla ilgili görsel Şekil-2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) Trokooidal frezeleme ve (b) Geleneksel frezeleme için geometrik talaş şekli gösterimi [12]

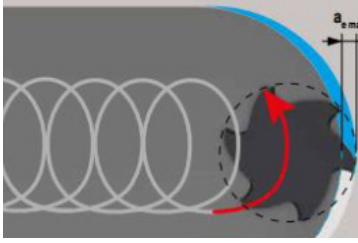
Trokooidal frezelemede, konvansiyonel frezelemeye göre oluşan en büyük farklılıklardan birisi, takımın trokooidal hareketi boyunca kaldırılan talaşın kalınlığının sabit olmayışıdır.

Kaldırılan talaşın ortalama kalınlığını veren formül aşağıdaki gibidir.

$$h_m = f_z \frac{\sqrt{a_e}}{d} \text{ olarak tanımlanmaktadır. (1)}$$

h_m = Ortalama Talaş Kalınlığı
 f_z = Maksimum Diş Başına İlerleme
 a_e = Yanal İlerleme (mm)
 d = Takım Çapı (mm)

Bu formülün ve parametrelerin daha iyi anlaşılması için trokoidal frezeleme esnasında kaldırılan talaşın kalınlığını veren görüntü Şekil-3 de gösterilmiştir.



Şekil 3. Trokoidal frezeleme esnasında takımın ve kaldırılan talaşın üstten görüntüsü [6].

Trokoidal frezelemede kullanılan ve standart trokoidal frezeleme olarak CAM programlarında kabul edilen tam çembersel takım yolunun haricinde, yarım çember, çeyrek çember, elipsoidal gibi çembersel ve eliptik şekillerde değişik takım yolları üretilmiş, ancak ne yüzey pürüzlülüğü ya da takım aşınması bakımından, ne de takıma etkileyen kesme kuvvetleri bakımından standart çembersel (trokoidal) yol ile kıyaslanabilecek bir başarı elde etmemişlerdir. [6]

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Pleta ve Ark yapmış oldukları çalışmada, trokoidal frezeleme sürecini daha iyi anlamak ve üretim senaryolarını optimize etmek için kesme kuvvetlerinin modellenmesi çalışmasını yapmışlardır. Yapılan çalışmada kuvvet modellemesinin temeli, kesme kuvveti katsayıları ve kenar kuvvet katsayıları ile kesilmemiş talaş kalınlığı modellemesidir. Yazarlar Inconel 718 malzemesinin kesilmesi sonucunda ortaya çıkan değerler neticesinde bazı sonuçlara varmışlardır. Daha önce yazarlar tarafından önerilen yeni bir kesilmemiş talaş kalınlığı modeli ile bu araştırma, model katsayılarının, maksimum kesme kuvveti ve takım aşınması gibi işleme çıktıları ile trokoidal yol parametreleriyle ilişkili olduklarını anladıklarını düşünülmektedir. Ayrıca, işleme parametreleri, minimum takım aşınması ve kesme kuvvetleri için optimal parametrelerin bulunduğu Taguchi yöntemini kullanarak takım ömrünün ve kesme gücünün iyileştirilmesi ile nasıl ilişkili oldukları araştırılmıştır. Trokoidal yolun, işleme tabi tutulan bölgeyle ilgili oldukları için işlenmiş numunelerin yüzeyi üzerindeki etkileri hem radyal hem de aksel yönlerde araştırılmıştır. Yapılan çalışmada bazı giriş parametreleri tanımlanmıştır. Bu giriş parametreleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneysel Giriş Parametreleri [8]

Trokoidal Takım Yolu Giriş Parametreleri

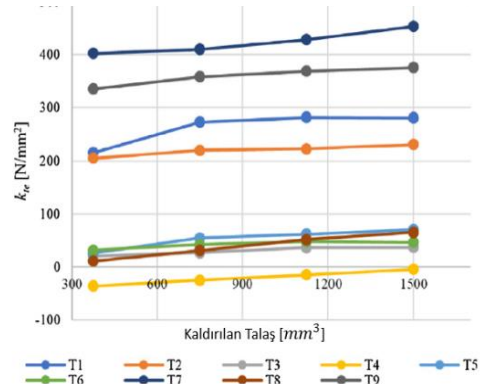
Takım Yolu Parametre	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Takım Devri (RPM)	$\dot{\theta}$	400	600	1200
Döngüsel Oranı (rad/s)	$\dot{\phi}$	0.30	0.50	0.70
Kesme Derinliği (mm)	a_p	0.50	1.00	0.75
Diş başına ilerleme (mm)	v_{feed}	0.025	0.050	0.075

Yapılan deneyler Taguchi deney metodu ile Kontrol faktörleri tanımlanmıştır. Yapılan deneyler bu kontrol parametreleri içerisinde yer alan adı ile tanımlanmıştır. Bu kontrol parametreleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

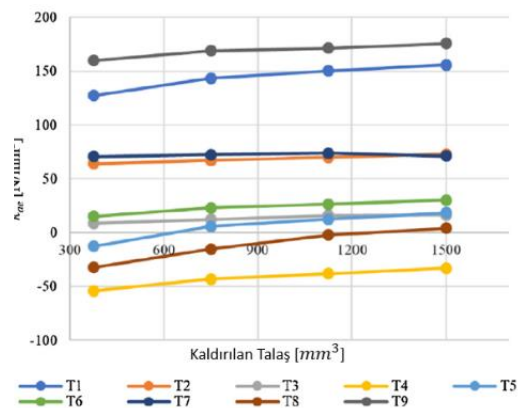
Tablo 2. Taguchi L9 için kontrol Faktör Parametreleri [8]

T1	1	1	1	1
T2	1	2	2	2
T3	1	3	3	3
T4	2	1	2	3
T5	2	2	3	1
T6	2	3	1	2
T7	3	1	3	2
T8	3	2	1	3
T9	3	3	2	1

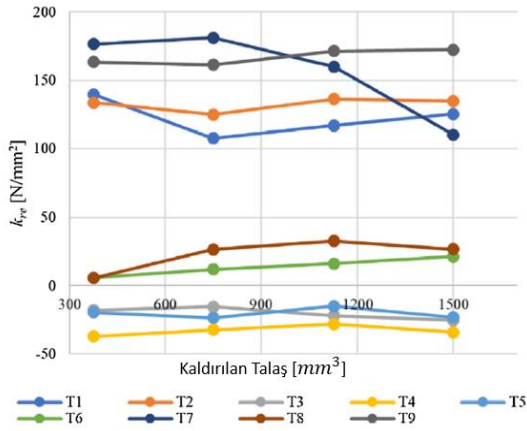
Yapılan deneylerin sonuçları Şekil 4-5-6 ve 7’de gösterilmiştir.”



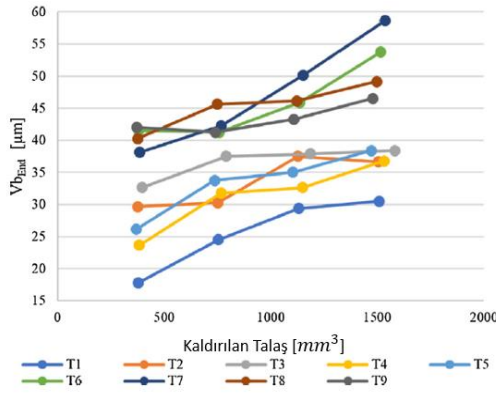
Şekil 4. K_{te} Artan aşınma oranına göre doğrusal yükselmesi [8]



Şekil 5. K_{ac} Artan aşınma oranına göre doğrusal yükselmesi [8]



Şekil 6. Artan aşınma oranına göre K_{rc} süreklilik olmayan durumu [8]



Şekil 7. Artan takım aşınması boyunca yanıl aşınmanın gösterilmesi [8]

Şekil 4-5-6 da gösterilen değerlendirme sonuçları neticesinde takım aşınmasının, talaş kalınlığının artması ile işleme tabi tutulan bölgenin derinliği ile arttırdığı bulunmuştur [8].

Liu ve Ark yapmış oldukları çalışmada, titanyum alaşımları, uçak ve savunma sanayi üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, takım aşınması, kesilmesi zor malzemeler olarak bilinen titanyum alaşımlarının işlenmesi ciddi bir sorundur. Trokooidal frezeleme, kesilmesi zor malzemelerin yüksek verimli işlenmesi için umut verici bir teknolojidir. Titanyum alaşımını gerçekleştirmeyi amaçlayan bu makale, kuru trokooidal de deforme olmamış talaş kalınlığının takım aşınması ve talaş morfolojisi üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. Deneylerde Tablo3'teki kesme parametreleri kullanılmıştır [2].

Tablo 3. Deneylerde kullanılan giriş parametreleri ($f_z=0.1\text{mm/diş}$, $a_p=2\text{mm}$) [2]

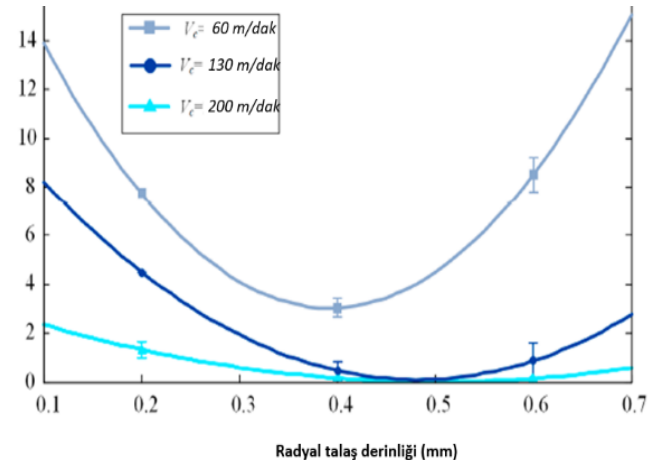
Test No.	Kesme Hızı [m/dak]	Kesme Derinliği a_e [mm]	Kesme Devri [rpm]	İlerleme Oranı [mm/dak]
1	60	0.2	1592	637
2		0.4		
3		0.6		
4	130	0.2	3448	1379
5		0.4		
6		0.6		
7	200	0.2	5305	2122
8		0.4		
9		0.6		

Her test için, takım aşınma durumu aşağıdaki kriterlere göre değerlendirilmiştir.

Ortalama yan takım aşınması $VB = 0,2 \text{ mm}$;

Maksimum yan takım aşınması $VB = 0,3 \text{ mm}$;

Aşırı Talaş aşınması ve takım kırılması



Şekil 8. Kaldırılan Talaş miktarı ve Talaş Derinliği [2]

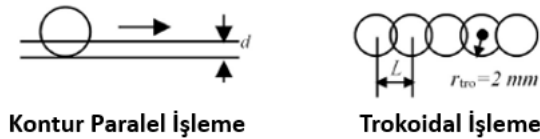
Yapılan deneyler neticesinde Tablo 4 de Trokooidal frezeleme için çıkarılan malzemenin hacmine (VMR) dayalı radyal kesme derinliği ile ilgili bir takım aşınma modeli oluşturulmuş kesme hızı ve eksenel kesme derinliği açısından optimize edilmiş kesme parametreleri, azaltılmış takım yoluyla işleme verimliliğini artırmıştır. Şekil 8'de gösterilen deney sonuçları ve analizlerine dayanarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır. Her kesme hızı, $V_c = 60, 130$ ve 200 m/dak için, frezelemede kaçınılması gereken en düşük VMR'ye karşılık gelen radyal bir kesme derinliği vardır. Bu çalışmada $0,4 \text{ mm}$ radyal kesme derinliğinden kaçınılmalıdır. Malzemenin işlenmesinde kesme verimliliğini artırmak için uygun bir radyal kesme derinliği gereklidir. Bu makalede, $0,6 \text{ mm}$ radyal kesme derinliği 60 m/dak kesme hızı ile birleştirilmiştir. Trokooidal frezeleme, titanyum alaşımı işlemek için umut verici bir yöntemdir. $0,6 \text{ mm}$ radyal kesme derinliği ve 60 m/dak kesme hızı kullanarak, malzeme çıkarma hızı $1165,93 \text{ mm}^3 / \text{dakika}$ dır ve takım ömrü kuru Trokooidal

frezelemede 177,5 dakikaya ulaşmıştır. Talaş morfolojisi takım durumu ile yakından ilişkilidir ve takım durumunu izlemek için talaş morfolojisi benimsenebilir [2].

Tablo 4. Test sonuçları VMR: Deneylerde Kaldırılan Talaş hacmi [2]

Test No.	VMR (mm ³)	Efektif kesme Zamanı (s)	MRR(mm ³ /dakika)
1	77,280	18,198	254.8
2	30,360	3575	509.6
3	85,146	6683	764.4
4	45,080	4904	551.6
5	4692	255	1103.2
6	8786	319	1654.8
7	13,340	943	848.8
8	1472	52	1697.6
9	1518	36	2546.4

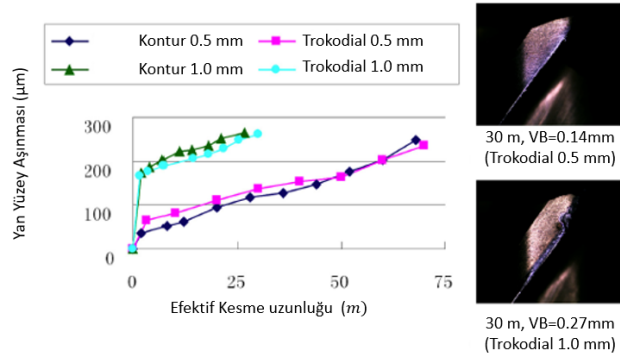
Shixiong ve Ark yapmış oldukları çalışmada, bir kalıp cebinin yüksek hızlı frezeleme esnasında işlerken, kesilecek alanda daha yüksek miktarda malzemenin bulunması nedeniyle cebin dar alanı veya köşesindeki takım yükü keskin bir şekilde artabilir. Bu makalede işleme kuvveti, işleme takımı ve cep geometrisini dikkate alan bir Trokooidal işleme yöntemi önerilmiştir. İlk olarak, Trokooidal işlemede giriş açısının geometrik modellemesi için bir yöntem önerilmektedir. Yapılan çalışmada 6mm çapında Alüminyum Titanyum Nitrür kaplı (TiAlN) Düz parmak freze takımı seçilmiştir. Malzeme: P20 HRC 36 diş başına ilerleme $f_z = 0.03\text{mm}/\text{diş}$ İş mili devri 8000 devir/dak Talaş kesme derinliği $A_p=4\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. İşleme Yöntemi olarak Kontur ve Trokooidal işleme olarak işlem yapılmıştır. Şekil 9'da gösterilmiştir.



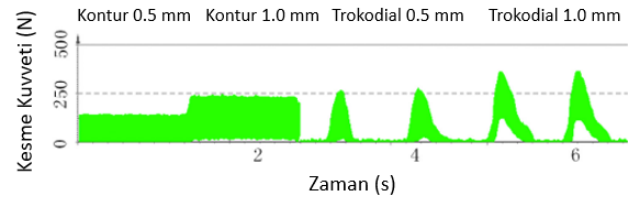
Şekil 9. İki model seti L-d karşılaştırması [5]

Frezeleme kuvvetinin maksimum ve ortalama değerleri analiz edilmiş, Trokooidal işleme prosesi sırasında kesme kuvveti eğrisi ile giriş açısı eğrisi arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Trokooidal işleme ile ilgili temel deneylere dayanarak, kesme kuvveti ve takım aşınması için sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada, Trokooidal frezeleme için uygun bir kontrol stratejisi önerilmektedir. Trokooidal işleme için bu kontrol stratejisine dayanarak, optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Son olarak, cep boşaltma işleminde karşılaştırma deneyleri yapılmış, ilerleme hızı ayarlama yöntemiyle

karşılaştırıldığında, Trokooidal işlemede kesme kuvvetinin köşelerde ve dar yuvalarda takım aşınması üzerinde daha iyi kontrol sağladığı ispatlanmıştır. Bu yöntemle kesme kuvveti ve işleme titreşimleri daha küçük olduğu ve takım aşınması önemli ölçüde azalttığı ispatlanmıştır. İlgili sonuç grafiği Şekil 10-11'deki grafikte görülmektedir [5].



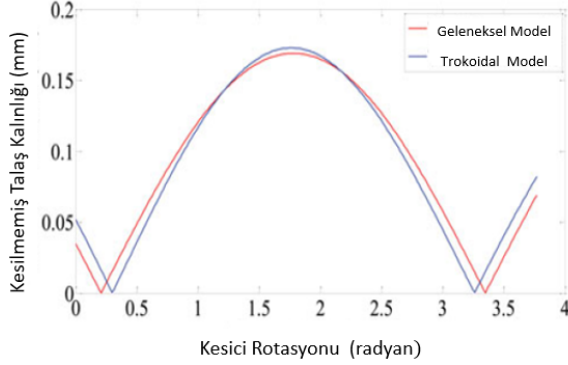
Şekil 10. Cep işlemede iki modelde yan yüzey aşınmasının karşılaştırılması [5]



Şekil 11. Cep işlemede iki modelde kesme kuvvetinin karşılaştırılması [5]

Mithilesh ve ark. yapmış oldukları çalışmada, takım tezgahlarında meydana gelen titreşimleri incelemiş ve stabilite ve kararsız bölgeleri sıfırıncı dereceden yaklaşık yöntemi ile tanımlamak için iki serbestlik dereceli sistem için Stabilite Lob Diyagramı (SLD) geliştirmiş ve tahmin edilmiştir. Dinamik kesme kuvveti modeli, rejeneratif kesilmemiş talaş kalınlığı kullanılarak teğetsel ve radyal yönlerde modellenmiştir. Kesilmemiş talaş kalınlığı, takımın kesici kenarı tarafından izlenen Trokooidal yol kullanılarak modellenmiştir. Dinamik kesme kuvveti katsayıları ortalama kuvvet yöntemine göre belirlenmiştir. Dinamik kesme kuvveti katsayılarını belirlemek için farklı ilerleme hızlarında ve eksenel kesme derinliklerinde çeşitli deneyler yapılmış ve SLD'yi tahmin etmek için kullanılmıştır. Geliştirilen SLD'nin fizibilitesini ve etkinliğini doğrulamak için birkaç başka deney yapılmıştır. Önerilen yöntemin SLD'nin öngörülmesinde oldukça etkili

olduğu bulunmuştur. Kararlı ve dengesiz kesme bölgesindeki kesme kuvvetleri deneysel kesme kuvvetleri ile uyumludur. Çıkan sonuçlar neticesinde Küresel uç ile frezeleme iş mili hızı arttıkça stabilite bölgesinin açıklığı artar. SLD değerlerinin düşük dönme hızında dengesiz olabileceği ve aynı kesme derinliğinde (0.2 ila 1.8 mm arasında) dönme hızının artırılması ile dengeli stabil olacağı gözlenmiştir. Tırlama için stabilite şemasını doğrulamak için farklı derinliklerde doğrulama testi yapılmıştır. Yüksek hızda küresel frezeleme işleminde, tırlama uygun bir iş mili hızı ve buna karşılık gelen eksemel kesme derinliklerinde simule edilerek daha yüksek işleme verimliliği elde edilebilir. Geliştirilen kesilmemiş talaş kalınlığı kullanılarak dinamik kesme kuvveti katsayılarının belirlenmesi hızlı ve hassastır. Teğetsel ve radyal yönlerdeki kesme kuvvetleri, Kesici takımın kesici kenarı tarafından hareket ettirilen trokooidal yol kullanılarak kesin olarak belirlenmiştir. Teğetsel ve radyal yönlerde simule edilmiş ve deneysel kesme kuvvetlerinin birbirine çok yakın olduğu bulunmuştur. Bununla ilgili sonuçlar Şekil'12 de görülmektedir. Kararlı bölgedeki kesme kuvvetleri, teğet ve radyal yönlerde sırasıyla maksimum%2,76 ve %11,69 sapmalara sahipken, kararsız bölgedeki yukarıdaki kuvvetler için%5'ten daha az sapma vardır [9].

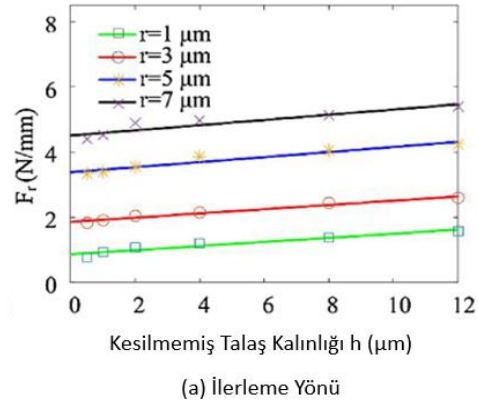
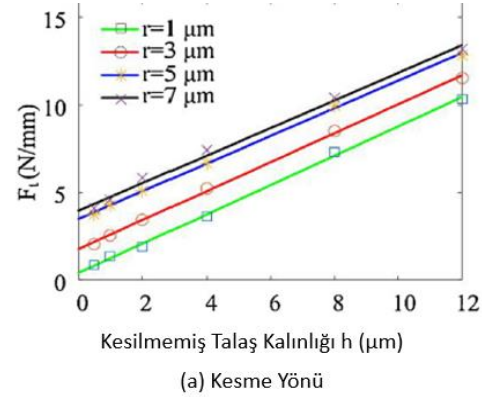


Şekil 12. Geleneksel ve trokooidal model için kesilmemiş talaş kalınlığının $R = 5\text{mm}$, eksemel kesme derinliği $= 1.8\text{mm}$ ve ilerleme hızı $= 0.22\text{ mm / diş}$ karşılaştırılması [9]

Yanjie ve ark. yapmış oldukları çalışmada, Kesme kuvvetlerinin doğru modellenmesi ve tahmini, mikro uç frezeleme prosesinde proses planlama ve optimizasyon için önemlidir. Kesme kuvvetlerini tam olarak tahmin etmek için, takım ucunun kesim trokooidal yörüngesinin ve daha önce geçen tüm dişlerin, yörünge çıkışının, minimum talaş kalınlığının ve malzemelerin kesme yörüngesinin kombinasyonu dikkate alınarak yenilikçi bir kesilmemiş talaş kalınlığı algoritması önerilmektedir. Önerilen kesilmemiş talaş kalınlığı algoritması, takımın tükenmesinin neden olduğu giriş ve çıkış açılarının varyasyonunu da göz önünde

bulundurur. Kesme kuvveti katsayılarını belirlemek için, gerinim sertleşmesini, gerinim hızı hassasiyetini, ısı yumuşatma davranışını ve sıcaklığa bağlı akışı dikkate alan dik mikro kesmenin sonlu bir eleman modeli (FEM) oluşturulmuştur.

FEM analizinin sonuçlarına dayanarak, kesme kuvveti katsayıları doğrusal olmayan bir denklem ile tanımlanır ve temsil edilir. Kesilmemiş talaş kalınlığı, kesici kenar yarıçapı ve kesme hızı kullanılarak belirlenen kesme kuvveti katsayıları mekanik bir kesme kuvveti modeline entegre edilmiş ve mikro uç frezeleme kuvvetlerini simule etmek için kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, deney sonuçları ile çok tatmin edici bir uyum göstermektedir. Simülasyon sonuçlarına dayanarak, kesme kuvveti katsayıları, kesilmemiş talaş kalınlığı, kesici kenar yarıçapları ve kesme hızlarının doğrusal olmayan fonksiyonları olarak tanımlanır. Ayrıca, salgı ve takım kenarı yarıçapının etkisini dikkate alan etkili eğim açısı hesaplanmış ve kesme kuvveti modeline dahil edilmiştir. Önerilen modeli kullanarak öngörülen kuvvetler deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Öngörülen ve deneysel kesme kuvvetleri benzer varyasyonları birbirine yakın genlik seviyeleri gösterir. İncelenen üç farklı kesme koşulunun simülasyonları ve filtrelenmiş deneysel maksimum kesme kuvvetleri arasındaki fark%7'den az olduğu görülmüştür [10].



Şekil 13. Farklı kesme çaplarında elde edilen kesme kuvvetlerinin gösterilmesi [10]

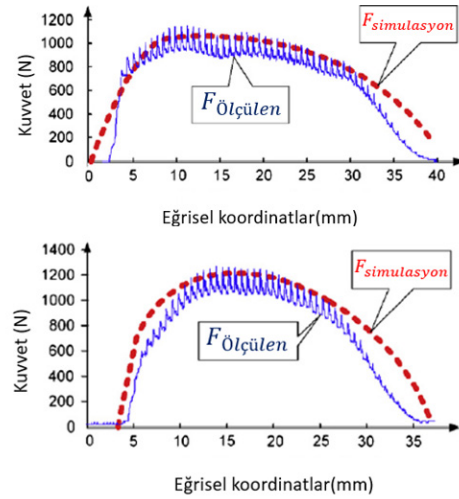
Sahoo ve Ark. yapmış oldukları çalışmada, mikro uç frezelemede kesme kuvvetlerinin tahmini hem işleme yüzeyinin kalitesi hem de takımın güvenliği için önemli bir husustur. Ayrıca, kesme katsayılarının tahmini, gerçek kesme kuvvetlerinin kesin tahmini için çok önemlidir. Genel olarak, bunlar çok fazla enerji ve kaynak tüketen kalibrasyon deneylerinin kesilmesiyle elde edilir. Bu nedenle, bu tür engelleri aşmak ve tamamen analitik bir modelleme yapmak için, bu çalışma titanyum alaşımı Ti-6Al-4V'nin mikro uç frezelemede kesme kuvvetlerinin tahmini için hibrit bir yaklaşım önermektedir. Öncelikle kesme kuvveti katsayıları, Ti-6Al-4V'nin yuvarlak kenarlı karbür takımı kullanılarak dik kesim modeli dikkate alınarak sonlu eleman simülasyonu kullanılarak değerlendirilmiştir. Johnson-Cook malzeme modeli, sonlu elemanlar (FE) analizinde akış gerilimi hesaplaması için düşünülmüştür. Kesme kuvveti katsayıları, bir dizi deforme edilmemiş talaş kalınlığı (UCT) için kesme işlemi simule edilerek çıkarılmıştır. Son olarak, çıkarılan kesme kuvveti katsayıları dahil edilerek küçük element kesme kuvveti entegre edilerek mekanik kesme kuvveti modeli geliştirilmiştir. Takım merkezinin hem düşük hem de yüksek değeri tükenmek için kullanılabilir geliştirilmiş bir UCT algoritması, takım merkezinin trokooidal yörüngesi, takım tükenmesi, minimum talaş kalınlığı ve elastik davranışı ve önceki dişlerin tek bir devir için yörüngeleri dikkate alınarak uygulanmıştır. Takım için önerilen modeli doğrulamak için kesme kuvveti deneyleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalı bir analiz, öngörülen ve deneysel kesme kuvvetleri arasında çok iyi bir uyum olduğunu göstermiştir [11].

Rauch ve Ark yapmış oldukları çalışmada, trokooidal takım yolları uygulanması için çeşitli iyileştirmeler önerilmiştir. İlk olarak, takım yolu parametrelendirilmesine göre maksimum radyal kesme derinliği hesaplaması yapılır. İki enterpolasyon modeli test edilir ve karşılaştırılır. Amaç, proses kısıtlamalarına göre en iyi takım yolu parametrelerini seçmektir. Ardından, cep frezeleme uygulamaları için geliştirilmiş takım yolu üretimi önerilmektedir. Cep Freze uygulamaların için önerilen yaklaşımı doğrulamak ve trokooidal takım yolu uygulamasının etkinliğini araştırmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Burada sunulan çalışma, sonuç olarak trokooidal takım yolunun uygulanmasının geliştirilmesine yol açarak işleme süresinin kısaltılmasına yönelik bir yaklaşım göstermiştir. Bu yazıda, trokooidal frezelemenin; trokooidal parametrelerin seçimi ve CNC takım tezgahlarında trokooidal takım yollarının uygulanması olmak üzere, iki yönü incelenmiştir. Deneylerde kullanılan giriş parametreler Tablo 5 de gösterilmiştir.

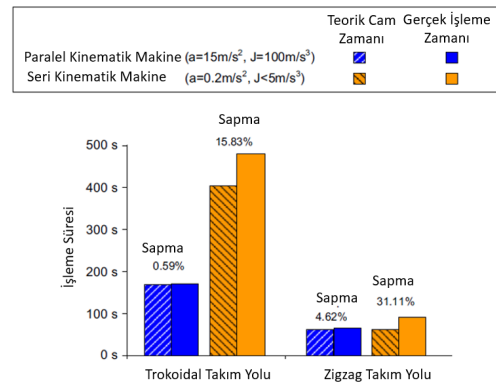
Tablo 5. Deneylerde kullanılan giriş parametreleri [1]

Trokooidal Radius (mm)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Oranı (mm/diş)	Trokooidal Adım (mm)	Talaş kaldırma Derinliği (mm)	
Trokooidal 1	10	2400	0.35	8	6.66
Trokooidal 2	10	2400	0.35	2	13.50

Önerilen gelişmeler ışığında tam daldırma yapılandırmasından kaçınılmasına yol açmaktadır. Takım hareketleri işlenen malzemenin özellikleri ve durumuna göre (cep yuva vb.) değişmektedir. Takım hareketleri işleme yönü boyunca ilerleme hızında artış olması devamlı olarak devam etmektedir. Ayrıca, radyal kesme derinliği hesaplama algoritması sayesinde hem işleme sürelerini iyileştirmek hem de teknolojik kısıtlamaları karşılamak için trokooidal model parametrelendirilmiştir. Bu çalışma ile NC takım tezgahlarında trokooidal takım yolları uygulaması önerilen yaklaşımı doğrular ve üretim ortalamasıyla ilişkili gereksinimleri karşılaştırılmıştır. İlgili deney sonuçları Şekil 15-16 da gösterilmiştir.



Şekil 15. Ölçülen ve simule edilen ortalama kuvvetlerin karşılaştırılması [1]



Şekil 16. Teorik ve gerçek işleme süreleri arasındaki sapmalara göre iki takım tezgahının karşılaştırılması.[1]

Bu nedenle, mevcut yüksek hızlı üretim bağlamında, trokooidal takım yollarının bu ayrıntılı çalışması CAM uzmanlarına ve NC programcıları, mevcut takımların yeteneklerine ve parçanın makineye göre en uygun işleme stratejisini oluşturmaktadır [1].

Hui ve Ark yapmış oldukları çalışmada, karmaşık cep işleme için yeni bir adaptif trokooidal (TR) takım modeli önermiştir. Önerilen model TR yarıçapını ayarlayabilirken, aynı anda her takım yolu döngüsünün üretimi için uyarlanabilir trokooidal bir adım sunar. Değişen yarıçap ile, karmaşık bölgeler tek bir TR takım yolu ile işlenebilir. Ayrıca, her TR döngüsünün adımı, sabit radyal kesim derinliğini korumak için çeşitli yarıçapa referans alınarak ayarlanabilir ve dolayısıyla tüm TR döngüleri arasında daha istikrarlı malzeme kaldırma oranı elde edilebilir. Karmaşık iç ve dış sınırlara sahip cep boşaltmak için, deneysel çalışmada önerilen TR takım yolunun kesme kuvvetlerinin dalgalanmasını etkili bir şekilde en aza indirebileceğini ve daha iyi takım verimliliği elde edebileceğini göstermiştir [12].

Li ve Ark yapmış oldukları çalışmada, kanal işleme üretiminde de yaygın olarak kullanılan bir işleme şeklidir. Trokooidal frezeleme, azaltılmış kesme kuvveti yükü ve daha iyi ısı dağılımı sayesinde, kesici takım ömrünü önemli ölçüde uzatmaya yardımcı olduğundan kanal işlemek için iyi bir stratejidir. Bununla birlikte, trokooidal frezeleme, geleneksel dairesel frezeleme ye göre toplam işleme süresi, talaş kaldırma oranı tarafından daha üstündür. Bu makalede kavisi bir sınıra ve değişen genişliğe sahip rasgele karmaşık yeni bir trokooidal desen türü önerilmektedir. İşenecek kanal için, toplam işleme süresini en aza indirme amacı için ısı dağılımını ve kesme kuvvetini ölçerek en iyi trokooidal takım yolunu bularak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma hem bilgisayar simülasyonlarında hem de fiziksel kesme deneylerinde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirildiğinde önerilen yeni tip trokooidal takım yolu model türünün geleneksel dairesel tipe göre amaçlanan avantajları doğrulamıştır [3].

Pleta ve Ark yapmış oldukları çalışmada, takım yolu teknikleri arasında kesme parametreleri ve katsayı değerleri hakkında bir anlayış oluşturmak amacıyla trokooidal frezeleme için kesme kuvveti katsayılarının toplanması araştırılmıştır. Yazarlar tarafından önerilen yeni bir talaş kalınlığı modeli kullanımı daha önceki bir çalışmada trokooidal frezeleme için kesme kuvveti katsayıları toplanmıştır. Trokooidal kuvvet modelleri için kanal açmada toplanan kesme kuvveti katsayılarının uygulanabilirliğini daha iyi anlamak için bu çalışmada, ikisi trokooidal frezeleme konfigürasyonunda ve beş kanal işleme konfigürasyonunda olmak üzere toplam yedi deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak,

trokooidal frezelemede kesme kuvveti modellemesinin, literatürde yaygın olan kanal açma testlerinden değil, trokooidal frezeleme testlerinden toplanan kuvvet katsayılarını kullanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Kanal açma ve trokooidal koşullar arasında diş başına ilerlemeyi eşleştirerek, Teğetsel kesme kuvveti katsayılarının tahmininin talaş kalınlığı geometrilerine dayanan eşleşen işleme parametrelerine kıyasla doğru olduğu bulunmuştur [13].

Zagorski ve Ark yapmış oldukları çalışmada, kesme hızı ve trokooidal adım modifikasyonunun seçilen işlenebilirlik parametreleri (kesme kuvveti bileşenleri ve titreşim) üzerindeki etkisini araştırmak için hazırlanmıştır. Ayrıca, daha ayrıntılı bir analiz için, seçilen yüzey pürüzlülüğü parametreleri araştırılmıştır. Araştırma, iki dereceli magnezyum alaşımları (AZ91D ve AZ31) için gerçekleştirildi ve kararlı işleme parametrelerini belirlemeyi ve frezeleme işleminin dinamiklerini, yani kesme kuvveti bileşenlerinde ve titreşimde meydana gelen değişimi araştırmayı amaçlamıştır. Testlerin belirtilen kesme parametreleri aralığı: $v_c = 400-1200$ m / dak ve $str = \%5-30$. Sonuçlar, kesme veri modifikasyonunun inceleme altındaki parametre üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir; V_c 'deki (kesme hızı) artış, kesme kuvveti bileşenlerinin azalması ile sonuçlanmıştır. Ve seçilen kesme parametreleri, testlerde kaydedilen titreşim seviyesi Yapay Sinir Ağları (Radyal Temel Fonksiyon ve Çok Katmanlı Algılayıcı) ile modellenmiştir. Sinir ağlarının magnezyum alaşımlarının frezelemede kesme kuvvetinin ve titreşimin tahmin edilmesi için bir araç olarak uygunluğunu doğrulanmıştır [14].

Akhavan ve Ark yapmış oldukları çalışmada, Trokooidal frezeleme, takım aşınması başına malzeme kaldırma oranını artırarak malzeme kesme enerjisini azaltır ve takım performansını iyileştirirken verimlilik maliyetiyle birlikte alternatif bir yol planlama stratejisi olarak ön plana çıkmaktadır. Takımın düşük radyal kesme kuvvetlerine ek olarak, trokooidal frezelemenin nikel bazlı süper alaşımlar gibi zor kesilen alaşımların işlenmesinde arzu edilen bir takım yolu olmasını sağlamıştır. Bu çalışmanın amacı, trokooidal frezelemenin dinamik stabilitesini incelemek ve IN718 süper alaşımını işlerken takım yolu parametrelerinin stabilite davranışı ile etkileşimini araştırmaktır. Dairesel frezeleme dinamiği (trokooidal frezeleme için bir takım yolu) ile ilgili yayınlanmış birkaç çalışma olsa da bu çalışma gerçek trokooidal takım yolunun dinamiklerini ele almaktadır. İlk olarak, talaş geometrisi niceleme stratejisi açıklanmıştır, daha sonra trokooidal frezelemede tırlama karakteristik denklemi formüle edilip tırlama stabilite lobları diyagramı ile izlenmiştir. Kesim sırasında talaş geometrisinin sabit kaldığı geleneksel bir uç frezeleme işleminden farklı olarak (stabilite bölgesini temsil eden tek bir tırlama diyagramı ile sonuçlanır), trokooidal frezeleme tırlama diyagramları her bir talaş

geometrisindeki değişiklik (artı kesici giriş ve çıkış açıları) ile zaman içinde gelişecektir. Kritik kesme derinliğinin sınırı geleneksel uç frezeleme ile karşılatırken stabilite korunurken kesme derinliğinin on kata kadar artırılabilceği gösterilmiştir. Son olarak, kesme takımının yer değiştirme yanıtı, sabit ve kararsız kesme bölgeleri için zaman alanında simule edilmiş; sayısal benzetim ve teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır [4].

III. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmalarda kuvvet modellemesinin temelini, kesme kuvveti katsayıları ve kenar kuvvet katsayıları ile birlikte kesilmemiş talaş kalınlığı modellemesinde yatmaktadır [8]. Trokooidal frezelemede kesme kuvveti modellemesinin, literatürde yaygın olan kanal açma testlerinden değil, trokooidal frezeleme testlerinden toplanan kuvvet katsayılarını kullanması gerektiği sonucuna varılmıştır [13]. Ayrıca, her trokooidal döngüsünün adımı, sabit radyal kesim derinliğini korumak için çeşitli yarıçapa referans alınarak ayarlanabilir ve dolayısıyla tüm trokooidal döngüleri arasında daha istikrarlı malzeme kaldırma oranı elde edilebilir. Karmaşık iç ve dış sınırlara sahip cep boşaltmak için, deneysel çalışmada önerilen trokooidal takım yolunun kesme kuvvetlerinin dalgalanmasını etkili bir şekilde en aza indirebileceğini ve daha iyi takım verimliliği elde edebileceğini göstermiştir [12]. Takım aşınmasının, talaş kalınlığının artması ile işleme tabi tutulan bölgenin derinliği ile arttırdığı bulunmuştur [8]. Talaş morfolojisi takım durumu ile yakından ilişkilidir ve takım durumunu izlemek için talaş morfolojisi benimsenebilir [2]. Talaş kaldırma sürecinde, izlenmeyen takım aşınması parça bozukluğunu ve hurda sayısını artırmakla beraber, aynı zamanda takımın kırılmasına ve pahalı CNC takım tezgâhlarında yüksek hasarlara sebep olmaktadır [15]. Bu çalışmalardan anlaşılacağı üzere takım aşınması; kesme parametreleri, takım açılarına ve işleme durumuna bağlı olduğu ispatlamıştır. Ayrıca takım aşınması ve kesme parametreleriyle ile ortaya çıkan tırlama davranışı izlemekte önemlidir. İşleme verimliliğini artırmak ve üretim kalitesini sağlamak için tırlamalardan kaçınılmalıdır [16]. Yapılan literatür çalışmalarında küresel uç ile frezelemede iş mili hızı arttıkça stabilite bölgesinin açıklığı artar. SLD değerlerinin düşük dönme hızında dengesiz olabileceği ve aynı kesme derinliğinde dönme hızının artırılması ile dengeli stabil olacağı gözlenmiştir [9]. Ayrıca trokooidal frezelemede kritik kesme derinliğinin sınırı geleneksel uç frezeleme ile karşılatırken stabilite korunurken kesme derinliğinin on kata kadar artırılabilceği gösterilmiştir [4].

KAYNAKLAR

[1] M. Rauch, E. Duc, ve J. Hascoet .(2009). Improving trochoidal tool paths generation and implementation using process

constraints modelling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*” c. 49, ss. 375–383

- [2] Dongsheng L,Zhang Y.,Luo M.,Zhang D. (2019).Investigation of Tool Wear and Chip Morphology in Dry Trochoidal Milling of Titanium Alloy Ti–6Al–4V.*Materials c12, s1937*
- [3] Li Z., Xu K., ve Tang K.(2019). A new trochoidal pattern for slotting operation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology c102:s1153–1163*
- [4] Niaki F., Pleta A., Mears L. Potthoff N. Bergmann J. Wiederkehr P. (2019). Trochoidal milling: investigation of dynamic stability and time domain simulation in an alternative path planning strategy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology c102:s1405–1419*
- [5] Shixiong W., Wei M., Bin L., Chengyong W. (2016). Trochoidal machining for the high-speed milling of pockets. *Journal of Materials Processing Technology c233:s29-43.*
- [6] Bastekeli E.(2019).Trokooidal Frezelemede İşlem Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi.*Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik üniversitesi Türkiye*
- [7] Özkan M. (2010). Bilgisayar Destekli İmalatta Dalarak Kaba ve Trokooidal İşleme Algoritmalarının Birleştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik üniversitesi Türkiye*
- [8] Pleta A., Nithyanand G.,Niaki F.,Mears L. (2019). Identification of optimal machining parameters in trochoidal milling of Inconel 718 for minimal force and tool wear and investigation of corresponding effects on machining affected zone depth. *Journal of Manufacturing Processes” c43 s54-62*
- [9] Dikshit M.,Puri A.,Maity A. (2017). Chatter and dynamic cutting force prediction in high-speed ball end milling. *Machining Science and Technology c2 ss291-312*
- [10] Yuan Y.,Jing X.,Ehmann K.,Cao J.,Li H. (2018). Modeling of cutting forces in micro end-milling. *Journal of Manufacturing Process c31 s844-858*
- [11] Sahoo P.,Pratap T.,Patra K. (2018). A hybrid modelling approach towards prediction of cutting forces in micro end milling of Ti-6Al-4V titanium alloy. *International Journal of Mechanical Sciences, c. 150 ss. 495-509*
- [12] Wang Q.,Wang S.,Jiang F.Li J.,(2016). Adaptive trochoidal toolpath for complex pockets machining. *International Journal of Production Research Vol 54 c.20 ss 5976-5989*
- [13] Pleta A.,Niaki F.,Mears L. (2018). A comparative study on the cutting force coefficient identification. *46th SME North American Manufacturing Research Conference c.26 ss.570-579*
- [14] Zagórski I., Kulisz M., Kłonica M., Matuszak J. (2019). Trochoidal Milling and Neural Networks Simulation of Magnesium Alloys. *Materials c. 12 ss. 2070*
- [15] Salıncıoğlu A.,Rafiqi M.(2017). Titreşim ve Kesme Kuvveti Esaslı Takım Aşınmasının Bulanık Mantıkla İzlenmesi ve Tahmini. *Politeknik Dergisi, 2017; c.20 (1) ss.111-120*
- [16] Zhang J., Liu C.,(2019). Chatter stability prediction of ball-end milling considering multi-mode regenerations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology c.100 ss.131-142*