

TÜRK MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA VE EĞİTİMİ DERGİSİ

2022 - Cilt: 1 Sayı: 1

ISSN: 2822-3454

Turkish Journal of Engineering
Research and Education

2022 - Vol: 1 No: 1

Bu dergi Türk Eğitim-Sen tarafından yayınlanmaktadır.

This journal is published by Türk Eğitim-Sen.



İmtiyaz Sahibi/ Owner	Talip GEYLAN - TÜRK EĞİTİM-SEN GENEL BAŞKANI
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü /Director	Cengiz KOCAKAPLAN
Yazışma Adresi / Correspondence Address	Erzurum Mahallesi Talatpaşa Bulvarı No:160 Kat:6 Cebeci/ANKARA
İnternet Adresi / Web Address	https://tmaed.org/index-tr.html
Yayın Türü /Publication Type	Sürelî / Periodical Yılda iki sayı yayımlanır: Mayıs, Kasım Published two issues per year: May, September
Baş Editör / Editor-in-Chief	Prof. Dr. Murat Erhan BALCI – Balıkesir Üniversitesi
Baş Editör Yardımcısı / Deputy Editor-in-Chief	Doç. Dr. Nuray GEDİK – Balıkesir Üniversitesi
Alan Editörleri / Area Editors	Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Feray KÖÇKAR - Balıkesir Üniversitesi Prof. Dr. İsmail ŞAHİN - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Mehmet Hakan HOCAOĞLU - İstanbul Ticaret Üniversitesi Prof. Dr. Mustafa GÜNAY - Karabük Üniversitesi Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Osman KOLA - Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Prof. Dr. Recep BİRGÜL - Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Prof. Dr. Şenol GÜRSOY - Karabük Üniversitesi Prof. Dr. Yasin ALEMDAĞ - Karadeniz Teknik Üniversitesi Doç. Dr. Baybars Ali FİL - Balıkesir Üniversitesi Doç. Dr. İlker TEKİN - Karabük Üniversitesi Doç. Dr. Nihat DÖNGEL - Gazi Üniversitesi Doç. Dr. Osman ÖZKARACA - Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Adem TEKEREK - Gazi Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Selman AYDOĞAN - Balıkesir Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Tuba GÖZEL - Gebze Teknik Üniversitesi
Editör Kurulu / Editorial Board	Prof. Dr. Abid ABU-TAIR - British University in Dubai Prof. Dr. Ahmed F. ZOBAA-Brunel University Prof. Dr. Adil EL-KORDI - Beirut Arab University Prof. Dr. Ali Fuat BOZ – Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Prof. Dr. Behnam MOHAMMADI-IVATLOO - University of Tabriz Prof. Dr. Can HAŞIMOĞLU– Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Prof. Dr. Çetin ELMAS - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. F. P. Garcia MARQUEZ - University of Castilla-La Mancha Prof. Dr. Gürkan ÖZDEN - Dokuz Eylül Üniversitesi Prof. Dr. Iqbal BABAYEV - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Jamal KHATIB - Beirut Arab University Prof. Dr. John KINUTHIA - University of South Wales Prof. Dr. Maksud BOBOJANOV - Tashkent State Technical University Prof. Dr. Mürsel ERDAL - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Nurali YUSUFBEYLİ - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Ömer EYERCİOĞLU - Gaziantep Üniversitesi Prof. Dr. Sergey BUSHİYEV - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Seyhan FIRAT - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Tuncay YİÇİT – Süleyman Demirel Üniversitesi Prof. Dr. Vilayet VELİYEV - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Z. ABDUL-MALEK - Universiti Teknologi Malaysia Assoc. Prof. Dr. S. H. E. Abdel ALEEM- Valley High Institute of Eng. and Tech. Dr. Abbas RABIEE - University of Zanjan Dr. Ali AHMADIAN - University of Bonab Dr. Amin Mohammadpour SHOTORBANI - University of British Columbia Dr. D. R. ALMALYK - The Islam Karimov Tashkent State Technical University Dr. Morteza Zare OSKOU EI - Qatar University Dr. Pouya IFAEİ - Kyung Hee University Dr. Saeed PEYGHAMI - Aalborg University Dr. Vahid VAHIDINASAB - Nottingham Trent University Dr. Zeynep HASIRCI TUĞCU - Karadeniz Teknik Üniversitesi

Mizanpaj Editörleri / Layout Editors	Doç. Dr. Yakup KAYA – Karabük Üniversitesi Öğr. Gör. Mehmet Serkan YILDIRIM – Gazi Üniversitesi
Dil Editörleri / Language Editors	Türkçe: Doç. Dr. Üyesi Ünsal Yılmaz YEŞİLDAL-Akdeniz Üniversitesi İngilizce: Prof. Dr. Recep BİRGÜL – Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Doç. Dr. Erkan YÜCE – Aksaray Üniversitesi
Teknik Editörler / Technical Editors	Dr. Öğr. Üyesi Hakan ADA – Kastamonu Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Onur ALTINTAŞ – Milli Savunma Üniversitesi Dr. Ramazan ÇAKIROĞLU – Gazi Üniversitesi
Bu Sayının Hakemleri/ Reviewers for the Current Issue	Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK – Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ – Karabük Üniversitesi Doç. Dr. Önder TOR – Kastamonu Üniversitesi Doç. Dr. Samet DEMİREL – Karadeniz Teknik Üniversitesi Doç. Dr. Serdar BİROÇUL.- Düzce Üniversitesi Doç. Dr. Turgay KIVAK – Düzce Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Altuğ YAVAŞ- Balıkesir Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR – Karabük Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY – Düzce Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Tamer BİROL- Balıkesir Üniversitesi

HAKKINDA

Türk Eğitim-Sen'in bilimsel yayın organı olan Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, mühendislik alanında hazırlanan güncel, özgün ve nitelikli çalışmalarını yayımlayan uluslararası hakemli bilimsel bir dergidir. Bu dergi, ilk sayısı 15 Haziran 2014 tarihinde yayımlanan "21. Yüzyılda Fen ve Teknik" dergisinin bölünmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, Mayıs ve Kasım aylarında yılda iki sayı olarak yayımlanmaktadır. Açık erişim bir dergidir ve makaleler için herhangi bir değerlendirme ve başvuru ücreti talep etmez.

ABOUT

Turkish Journal of Engineering Research and Education, the scientific publication of Türk Eğitim-Sen, is an international peer-reviewed scientific journal that publishes current, original and qualified studies in the field of engineering. This journal emerged as a result of the division of the "Science and Technology in 21st Century" journal, the first issue of which was published on June 15, 2014. Turkish Journal of Engineering Research and Education is published twice a year, in May and November. It is an open access journal and does not charge any evaluation and submission fee for manuscripts.

AMAÇ ve KAPSAM

Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitim Dergisi, mühendislik alanında güncel, özgün ve nitelikli çalışmalarını yayımlayarak, mühendislik öğrencilerinin eğitimlerini ve mühendislerin yaşam boyu mesleki gelişimlerini desteklemeyi, ayrıca mühendislik alan yazınına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu dergi, tüm mühendislik disiplinlerinden özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler ve editöre mektupları yayımlamak üzere kabul eder.

AIMS and SCOPE

Turkish Journal of Engineering Research and Education aims to support the education of engineering students and the lifelong professional development of engineers, and also to contribute to the engineering literature, by publishing current, original and qualified studies in the field of engineering. This journal welcomes original research articles, reviews, short articles and letters to editor from all engineering disciplines for publication.

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Code Quality Analysis Engine with Codes Written in Typescript**
TypeScript ile Yazılmış Kodlar için Kalite Analiz Motoru 1
Mehmet Göktürk, Fatih Koç
- Sertleştirilmiş DIN 1.2550 Çeliğinin Frezeleme Performansının Araştırılması**
Investigation of the Milling Performance of Hardened DIN 1.2550 Steel 8
Alaatin Kaçal
- Ağaç Malzemede Termo-Mekanik Yoğunlaştırmanın Parlaklık ve Sertliğe Etkisi**
Effect of Thermo-Mechanical Densification on Brightness and Hardness in Wood Material 15
Sait Dünder Sofuoğlu
- Çok Yönlü Sıcak Dövmenin Al-7Si Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisi**
Effect of Hot Multi Directional Forging Process on the Mechanical Properties of Al-7Si Alloy 20
Yasin Alemdağ, Sadun Karabıyık
- The Effects of Different Origins NaOH on the Mechanical and Microstructural Properties of Tuff-Based Alkali-Activated Pastes**
Tüf Esaslı Alkali-Aktive Edilmiş Hamurların Mekanik ve Mikro Yapısal Özelliklerine Farklı Orijinli NaOH'ın Etkileri 29
Mahfuz Pekgöz, İlker Tekin

RESEARCH ARTICLE

Code Quality Analysis Engine with Codes Written in Typescript

TypeScript ile Yazılmış Kodlar için Kalite Analiz Motoru

Mehmet Göktürk*, Fatih Koç

Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, Kocaeli

Geliş / Received: 13.04.2022

Kabul / Accepted: 11.05.2022

*Corresponding Author: Mehmet Göktürk, gokturk@gtu.edu.tr

ABSTRACT: In this study, an automatic software based on basic known software quality parameters, which can apply static code analysis on code files written with the new generation TypeScript programming language, which is made available by Google instead of Javascript, measure compliance with the defined standards and as a result calculate a quality index value for the code file. quality analysis engine has been developed.

The software developed as a web application, where users can perform the analysis process through the application interface by making the necessary configuration changes, access the analysis results, the calculated quality index value and the list of situations that cause this value to decrease, has been arranged.

In the study, it is aimed to help software developers using TypeScript language to work in accordance with quality code development standards and to enable these standards to be followed more easily by embodying them with the help of a measurable metric. For this purpose, a web-based software was developed using node.js and Angular libraries, rules were defined for the TypeScript language in this software, and it was possible to calculate a quality index value according to the results obtained by running these rules on the analyzed file with the help of the configuration determined by the users.

As a result of the study, different scenarios of the rules were created and the TypeScript files of these scenarios were tested with the developed web application and the performance criteria were evaluated. A success of 62% was achieved in the first results obtained, and the developers evaluated that the system could be used.

Keywords: Code Quality Analysis, Typescript, Angular, Software Development, Software Quality

ÖZ: Bu çalışmada Google tarafından Javascript yerine kullanıma sunulan yeni nesil TypeScript programlama dili ile yazılmış kod dosyaları üzerinde statik kod analizi uygulayabilen, tanımlanmış olan standartlara uygunluğun ölçülmesi ve bunun sonucunda kod dosyası için bir kalite indeksi değeri hesaplayan, temel bilinen yazılım kalite parametrelerini temel alan otomatik bir yazılım kalite analiz motoru geliştirilmiştir.

Kullanıcıların gerekli konfigürasyon değişikliklerini yaparak uygulama arayüzü üzerinden analiz işlemini gerçekleştirebildiği, analiz sonuçlarına, hesaplanan kalite indeksi değerine ve bu değerinin düşmesine yol açan durumların listesine erişebildiği bir web uygulaması olarak geliştirilen yazılım düzenlenmiştir.

Çalışmada TypeScript dilini kullanan yazılım geliştiricilerinin kaliteli kod geliştirme standartlarına uygun şekilde çalışmalarına yardımcı olmak ve bu standartların ölçülebilir bir metrik yardımı ile somutlaştırılarak daha kolay şekilde takip edilmesini sağlamak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda node.js ve Angular kütüphaneleri kullanılarak hazırlanan bir web tabanlı yazılım geliştirilmiş, bu yazılımda TypeScript dili için kurallar tanımlanmış ve kullanıcıların belirlediği konfigürasyon yardımı ile analiz edilen dosya üzerinde bu kurallar çalıştırılarak elde edilen sonuçlara göre bir kalite indeksi değeri hesaplanması mümkün olmuştur.

Çalışma sonucunda gerçekleştirilen kurallara ait farklı senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolara ait TypeScript dosyaları geliştirilen web uygulaması ile test edilerek başarımları değerlendirilmiştir. Elde edilen ilk sonuçlarda %62 düzeyinde bir başarı elde edilmiş, sistemin kullanılabilir olduğu geliştiriciler tarafından değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kod Kalite Analizi, Typescript, Angular, Yazılım Geliştirme, Yazılım Kalitesi

1. INTRODUCTION

The Angular software development framework system, popularized by Google, is an open source project that can be freely used and modified by anyone [1]. A more qualified language than Javascript called TypeScript is used in this popular framework, which is mostly created to develop web applications. In this structure, frontend developers work using frameworks such as Angular or React to present and manipulate data efficiently.

The Typescript programming language offers a work environment that can be easily managed by large teams. Compared to the Javascript language used with AngularJS, which was used in previous software development framework, significant advanced features have been provided to the developers.

However, automatic examination of the developed code is one of the important mechanisms that can be put forward in the process of quality software development, in order to ensure that software developers, -who are observed to be able to maintain old and bad habits and continue to make various basic principle mistakes-, write quality code.

In this study, a static code analysis was applied on the code files written in TypeScript, which is the programming language of the Angular framework structure, to measure the compliance with the predefined standards and quality guidelines, and as a result, a system was developed that calculates a quality index value for the code file entered into the system.

Within the software development process, the complexity of software projects increases as the development process progresses, personnel changes in software teams, the growth of project scales and the growth in the source code base make it difficult to maintain the code quality at acceptable levels, and the cost of software development and maintenance gradually increases due to the decrease in quality [2].

With the system developed within the scope of the study, it is aimed to help software developers using TypeScript language to write code in accordance with quality code development standards and to

follow these standards more easily by embodying them with the help of measurable metrics. For this purpose, a web-based static code analysis software was developed using node.js and Angular libraries.

In the developed software, the number of rules for the TypeScript language were defined and the configuration parameters determined by the users were created. With the help of this system, a final quality index value was calculated according to the results obtained by running the rules entered in the system on the analyzed file. Furthermore new rules can be added in a flexible structure with a parametric approach.

In the following sections of the article, there are literature review on the subject, the method and material chosen for problem solving, the technologies and tools used, the findings, conclusion and discussion, and references sections.

2. LITERATURE REVIEW

Traditional code analysis and problem finding has been a popular subject for software engineering discipline. Several tools were emerged for their purpose. ESLint for example statically analyzes written code to quickly find problems. It is built into most text editors and you can run ESLint as part of the continuous integration pipeline [3]. The primary reason ESLint was created was to allow developers to create their own linting rules. ESLint was designed to have all rules completely pluggable where customization was priority. ESLint, especially working with IDE and text editors, applies static code analysis on the codes written in JavaScript language and aims to detect errors while writing the code [4]. Since TypeScript language is built on JavaScript, ESLint can also analyze TypeScript files.

SonarQube, on the other hand, provides quality and safety analysis for code written in more than 20 languages, and is added as an extra step to the software development process, helping to analyze the entire project before distribution [5,6]. SonarQube can perform analyzes with the help of an extra module specially designed for TypeScript language.

Apart from the popular applications mentioned, there are also smaller scale examples of similar

static code analysis software distributed as NPM packages.

3. METHOD AND MATERIAL

3.1 General Approach

Given the vast set of existing code quality analysis tools, this study limited its focus to static code analysis on TypeScript language only with high speed generic evaluation as target performance parameter.

Static code analysis approach has been followed in this study. As described by Stefanovic et. al The static code analysis process is useful both for optimizing the operation of the compiler and detecting irregularities and possible defects [7,8] which can be used to evaluate quality as well. Systems can be developed helping developers to understand the behaviour of programs and to identify various possible defects in those without their execution performed. Static code analysis is therefore performed by programs that explain the behaviour of developed code.

3.2 Design

The project is designed as a web application. It is divided into two main parts, the back-end and the front-end. The back-end will share the results in JSON format with the generated API by applying static code analysis on the given TypeScript file and checking the defined rules. The front-end part will receive the result data via this API and visualize it with a user-friendly interface. The backend part is divided into 4 main parts:

- **Data Processing Module:** This module is responsible from loading code file containing TypeScript program and processes using a typescript compiler.
- **Rule Engine:** It is the module where each rule to be checked by evaluating the data of the decoded file is applied.
- **Configuration Module:** It is used to create configuration web application backend and API services running on Node.js. It is the module that enables the transfer of user preferences such as file name and information about the rules to the application.

- **API:** It is the module that is responsible from calculating the Code Quality Index using the results of the rules and allows these results to be shared with the front-end of the system.

The system architecture showing dataflow that is composed of these modules is shown in Figure 1.

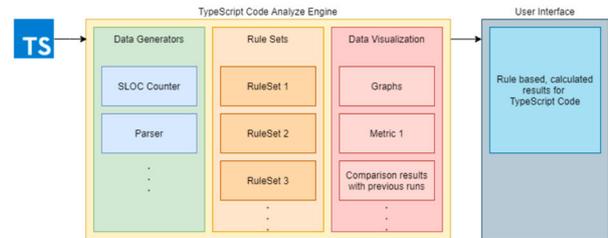


Figure 1: System architecture

The analysis process on the back-end was triggered after data was obtained from the user with the help of front-end services.

Visualization and processing of this data and making it user-friendly and intuitive are also done in front-end section. A structure suitable for MVC architecture has been utilized to develop entire system.

3.3 Technology and Tools Used

Implementation of software, that works on developer code requires combination of several technologies. Significant amount of parsing and string matching is required. In this section, information about the purposes of using each technology and tools in the design, development and testing process of the system are given.

3.3.1 Technologies

As the subject language Typescript is focus of this study, same environment is used in order to develop the system. Therefore, along with the Typescript language, Angular framework is used for the development of the front-end application. For certain sections, Javascript is also utilized for some parts of back-end and front end development phases. As a framework, Node.js has been used to establish server structure of the back-end application where Express.js is used to create web application backend and API services running on Node.js. HTML/CSS code processed and

Highcharts library was accommodated to draw graphic results on user interface. Therefore a complete multilayer web framework was established to data processing and presentation.

For the data processing module, a typescript parser (NPM Package) needed and therefore utilized. Furthermore, "ts-file-parser" module was also used to decode Typescript source code files successfully. Figure 2 shows main user interface for uploading the codefiles that is used in the study using ts-file-parser module.

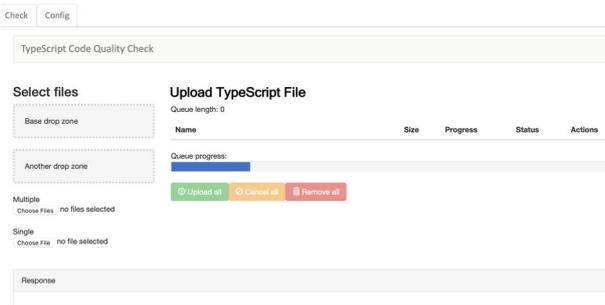


Figure 2: Code file upload interface

Usable interaction was one of the key challenges of the study since developers are usually hesitant in using such systems. In order to create user friendly front-end user interface, Angular Material Design npm package was installed along with the system, where professional look and feel can be obtained with relatively smaller amount of effort.

3.3.2 Tools

The system has been developed in Visual Studio Code development environment. In order to draw diagrams during design phase, draw.io package was used to draw diagrams where the functionality in the main canvas can be controlled by the main application. Draw io libraries, the menus, the toolbar, the default colours, the storage location, can all be changed by the programmer. Furthermore, tabulation and word processing tools were also used to evaluate data obtained from the system.

3.4 General Structure

Once the typescript file becomes uploaded, the back-end part of the system performs analysis of source code file using the user preferences that are stored in a 'config.json' file in directory. The file path to be analyzed, the directory path where the result files will be created, the defined rules, the

categories of the rules, the weights of the rules in the code quality index and the preferences of these rules are included in this configuration file along with other necessary parameters. We have observed similar approaches were used in previous studies literature [9-11]. These quantity of these parameters can later be extended for practical purposes. The user is expected to make any changes and modification before running the backend of the application and restart the backend process after any changes are made. For the study, there are only certain rules that are tested. Since the main purpose of the study is to test viability and workability of such a technique, limited number of rules were implemented. The rules that are included in preferences file are given in Table 1. In Table 1, rule names, categories and content of the rule is summarized.

The initialization of system requires a backend server to be started manually. After the backend server is started, it will constantly listen to the specified port and respond to incoming HTTP requests for source file analysis processing task. The analysis process is then started with the request from the front end client per uploaded file. As the analysis process starts, the file to be analyzed will be read/parsed and this file will be analyzed in different ways with the help of the 'typescript-parser' and 'ts-file-parser' NPM packages used within the system. In this way, asynchronous use of parser and source code evaluator becomes possible by multiple clients. It is expected that in large software development teams, code quality check service will be used frequently by the developer IDE systems.

Through the decomposing process of input files, data obtained as a result will be analyzed using the implemented rules. In order to accomplish this task, "rule checks" of this input source file are necessary. The system then makes these rule checks. Each rule is evaluated and an individual rank value is obtained from the execution of each rule. Based on the ranks obtained from each rule, a code quality index is then calculated by the results from the rules. Then all of the results will be collected in an object in JSON format and sent as response to the incoming request coming from the client computer user interface.

Table 1: Defined rule set.

Rule Name	Category	Content
duplicatingLibraryNames	Code Quality	Checks for duplicate libraries.
duplicatingSpecifiers	Code Quality	Translation results Checks for duplicate library modules.
namingConvention	Code Standards	Controls the naming of defined variables and function parameters.
methodReturnType	Code Quality	Controls the return data types of functions.
methodLOC	Code Quality	Controls the line count of functions.
methodArgumentType	Code Quality	Controls the data types of the parameters of the functions.
fieldType	Code Quality	Checks the data types of the variables belonging to the classes.
commentsForMethods	Code Standards	Checks if there is a descriptive comment at the beginning of the functions.

The response obtained from back end and transferred to the the front-end side is interpreted in various ways and visualization of the data is provided using a graphics library. Charts were created using the open source Highcharts library, and the incoming data is plotted using these charts and visualized [12]. Then it becomes possible to access the code quality index obtained as a result of the analysis and the existing exceptions via the user interface. This will give a stimulating and criticizing index value and graphics explanation for the developer user interface.

4. RESULTS

Although the study is only to test the viability of the methodology, it has been observed that the source code analysis and quality assesment process works successfully in general. It has been observed that file parsing performance is a key factor in order to get acceptable results. It has also been observed that the defined rules can detect undesirable situations in

the file as expected. Therefore special exception handlers are necessary in order to achieve more clean and meaningful output. This, in turn is similar to some other developer who has no domain knowledge on subject of code, checking the source code quality visually. It has been observed that the “Code Quality Index” is calculated correctly, taking into account the weights and error numbers given by the user. This index has been manually checked, and verified by the developer team and research team.

It has been observed that the backend application architecture prepared with Node.js and Express.js works in relatively good performance for multiuser application to be installed on a web server. With multiuser client availability, a future system might collect requests from IDE applications which developers use for development. Then, quality assesment tasks can be handled at the background with consent of the developer.

In the study performed, some data is seemed missing in several graphics drawings in the front-end application prepared with Angular, therefore it has been observed that improvements and bug fixes were made in the front-end application to overcome these issues. In Figure 3, parsed structures are displayed with respect to their categories.

**Figure 3:** Analysis Display Graph 1 from interface

As for the results, for the test run, under 2 different categories, 8 rules were implemented, the success rate of 4 of checking these rules was observed to be 100%, and for 4 rules, it was observed that it remained slightly below the success target of 85%.

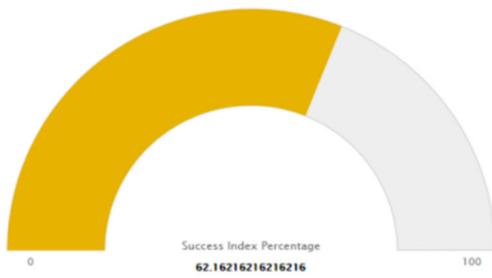


Figure 4: Analysis Display Graph 2 from interface

Speed characteristics of the system performance is also measured. It has been observed that the analysis process of a 200-line TypeScript file took less than 1 second, and it took around 500 milliseconds on average in the tests performed. Code Quality Index values were given in Figure 4 along with individual analysis results. This index was calculated as a mean value for all individual indices. In Figure 5, each rule is displayed and matching rules and violations were reported to compute resulting scores for each parameter.

It was also observed that it was very hard to pull/import a single file from the GIT system, and GIT integration was therefore abandoned temporarily because it was an efficient way to download the entire project and analyze a single file through it. Further elaborations are required in order to address this problem for full integration with GIT system to be used seamlessly as a GIT plug-in.

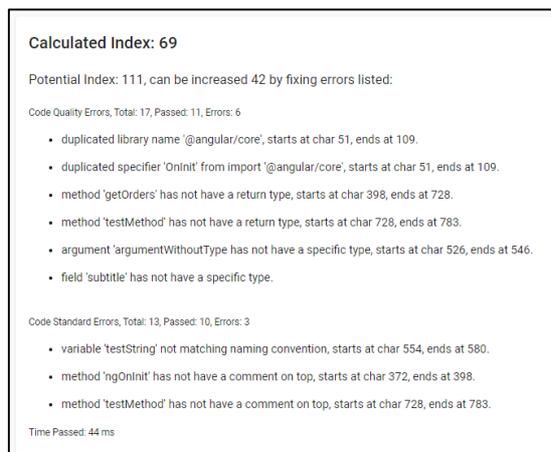


Figure 5: Analysis Display List: Index Value

5. CONCLUSION

In this study, it was aimed to measure and assess source code compliance with predefined standards by applying static code analysis on code files written in TypeScript programming language. Then as a result, it was aimed to calculate a “Code Quality Index” value for the file that was supplied.

With this study, the goal was to create a tool to help software developers using TypeScript language to work in accordance with quality code development standards and to make these standards easier to follow by embodying them with the help of a measurable metric. This objective is demonstrated in this study that it can be achieved with success.

The basic requirements within the scope of the initial goals of study were fulfilled, and a Code Quality Index was calculated for each file as a result of this analysis by applying static code analysis.

There are further improvements that can be done in various aspects of the study and these are listed as follows:

- Creating as many different test scenarios as possible and continuing to develop existing rules to improve success rates.
- Implementation of more rules, and extendible rule library for better code quality management
- Making user interface improvements to enhance interaction.
- Having multiple uploads working for large projects.
- Creating different user accounts for the web application and keeping their individual configurations in the database and managing them through the interface.
- Creating more realistic results using sophisticated methods and heuristic additional methods for calculating the Code Quality Index.
- Using machine learning algorithms to create a second quality index using tagged codebase as learning set.

Through the interviews, it has been seen that developer personnel performance and motivation can be increased with the structure obtained as a result of this study. Further gamification and ranking approaches can also enhance this increase.

Having a server based code quality checking system will enable development of a future self learning code quality checking system which may extract rules using uploaded and developed code by the developers, slowly adapting to enterprise coding behaviour and standards. This will be studied in further research.

Today, developer satisfaction and performance are of great importance for companies. Software developers do not want to stay in institutions where old approaches are preferred. For this reason, the effect of increasing the motivation of software developers to stay in the institution will be significant.

6. REFERENCES

- [1] Y. Fain and A. Moiseev, "Angular Development with TypeScript," 2nd. Manning, NY, 2018.
- [2] R. Bellairs, "What Is Code Quality? And How to Improve Code Quality." perforce.com. <https://www.perforce.com/blog/sca/what-code-quality-and-how-improve-code-quality> (accessed Apr 4 2022).
- [3] V. Raychev, "Learning to Find Bugs and Code Quality Problems-What Worked and What not?" in 2021 International Conference on Code Quality (ICQ). IEEE, 2021, pp.1-5.
- [4] "ESLint About." eslint.org. <https://eslint.org/docs/about/> (accessed Apr 4 2022)
- [5] "SonarQube Documentation." sonarqube.org. <https://docs.sonarqube.org/latest/> (accessed Apr 10. 2022)
- [6] "First Line Outsourcing, Static Analysis of JavaScript applications with SonarQube" medium.com. <https://medium.com/firstlineoutsourcing/static-analysis-of-javascript-applications-with-sonarqube-1aacdf11d4ac> (accessed Apr 5 2022)
- [7] D. Stefanović, D. Nikolić, S. Havzi, T. Lolić and D. Dakić, "Static Code Analysis Tools: A Systematic Literature Review." in Proc. of the 31st DAAAM International Symposium, B. Katalinic(ed.) Published by DAAAM International, 2020, pp. 565-573.
- [8] E. Thoren and F. Brännlund Stål, "Usage of Angular from developer's perspective: Based on a literature and empirical study." B.S. Dissertation, Faculty of Computing Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, 2017.
- [9] S.H.Jensen, A. Møller and P. Thiemann, "Type analysis for JavaScript," in Proc. International Static Analysis Symposium, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 238-255.
- [10] Aseem Rastogi, N. Swamy, C. Fournet, G. Bierman and P. Vekris, "Safe & efficient gradual typing for TypeScript," in Proc. of the 42Nd Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages 2015, pp. 167-180.
- [11] J. Bogner, and M. Merkel, "To Type or Not to Type? A Systematic Comparison of the Software Quality of JavaScript and TypeScript Applications on GitHub," Preprint, in Proc. Of 19th International Conference on Mining Software Repositories MSR2022, Pittsburgh PA, 2022.
- [12] "High Charts Library Documentation," highcharts.com. <https://www.highcharts.com/docs/index> (accessed Apr 10 2022).

Sertleştirilmiş DIN 1.2550 Çeliğinin Frezeleme Performansının Araştırılması

Investigation of the Milling Performance of Hardened DIN 1.2550 Steel

Alaattin Kaçal*

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Simav Kütahya

Geliş / Received: 22.04.2022

Kabul / Accepted: 11.05.2022

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Alaattin Kaçal, alaattin.kacal@dpu.edu.tr

ÖZ: Bu çalışmada, 58 HRC sertliğinde DIN 1.2550 malzemenin karbür kesici uçlarla frezelenme performansı araştırılmıştır. Deneylemlerden elde edilecek sonuçlar kullanılarak, bu gibi zor kesme şartları için uygun olabilecek frezeleme parametrelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Frezeleme işlemleri kuru şartlarda 0.25 mm sabit kesme derinliğinde, 4 farklı kesme hızı (50, 75, 100 ve 125 m/dak) ve 3 farklı ilerleme (0.1, 0.15 ve 0.2 mm/diş) değerinde yapılmıştır. Uygun olan parametre seviyelerinin belirlenmesi için yüzey pürüzlülüğü (Ra), kesici takım aşınması ve oluşan talaşlar değerlendirilmiştir. Ra sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilebilmesi için varyans analizi yapılmıştır. İlerlemenin artması yüzey pürüzlülüğünü arttırmış ve yüksek kesme hızında kesici takım aşınması artmıştır. Daha az yüzey pürüzlülüğü için düşük kesme hızı ve ilerleme parametrelerinin uygun olacağı belirlenmiştir. En düşük 100 m/dak kesme hızı değerinde 0,1 mm/diş ilerlemede 0,19 µm olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: DIN 1.2550 çeliği, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, sert parça frezeleme

ABSTRACT: In this study, the milling performance of DIN 1.2550 material with a hardness of 58 HRC with carbide inserts was investigated. By using the results obtained from the experiments, it is aimed to determine the milling parameters that may be suitable for such difficult cutting conditions. Milling operations were carried out in dry conditions at a constant cutting depth of 0.25 mm, 4 different cutting speeds (50, 75, 100 and 125 m/min) and 3 different feeds (0.1, 0.15 and 0.2 mm/tooth). Surface roughness (Ra), cutting tool wear and chips were evaluated to determine the appropriate parameter levels. Analysis of variance was performed in order to evaluate the Ra results statistically. The increase in feed increased the surface roughness and the wear of the cutting tool increased at high cutting speed. It was determined that low cutting speed and feed parameters would be appropriate for less surface roughness. It was measured as 0.19 µm at 0.1 mm/tooth feed at the lowest cutting speed of 100 m/min.

Keywords: DIN 1.2550 steel, surface roughness, tool wear, hard milling

1. GİRİŞ

Talaşlı imalat endüstrisinde geniş ölçekli rekabet gücünü koruyabilmek adına sürekli olarak maliyetleri düşürmek hedeflenir. En yüksek kaliteye ve düşük maliyete ulaşmak için çaba sarf edilir. Makine imalat sektöründe çeliklerin sertleştirildikten sonra işlenmesi maliyet ve yüzey özellikleri gibi beklentilerden dolayı ilgi görmektedir. Aks, mil ve kalıp elemanlarının işlenmesinde sertleştirme ısı işleminden sonra işleme uygulanmaktadır [1]. Bu alanlarda sertleştirilmiş çeliklerin frezelenmesi

yaygınlaşmaktadır [2]. Çeliklerin sertleştirildikten sonra işlenmesiyle elde edilen yüzey özellikleri taşlama operasyonlarına göre daha uygun olabilmektedir. Şekil ve istenen yüzey kalitesinin bir işlemede elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Soğutma sıvısı kullanmadan seramik, CBN, PCD ve kaplamalı karbür kesici takımlar ile işleme yapılabilmesi bir avantajdır [1]. Sertleştirilmiş çeliklerin frezelenmesi, geleneksel işlemeye kıyasla daha düşük üretim maliyeti ve süresi sebebiyle önemli faydalar sağlar. Frezelemedeki sıcaklık değişimi, kesici takımların aşınmasını etkileyen önemli bir faktördür. Hatalı

frezeleme parametreleri seçimi, aşırı takım aşınmasına ve artan yüzey pürüzlülüğüne neden olabilir. Bu nedenle, sertleştirilmiş çeliklerin frezelenmesi sırasında işlenebilirliğin incelenmesine ihtiyaç vardır.

Sert takım çeliklerinin frezelenmesinde çentik, yapışma ve ufalanma aşınması mekanizmaları belirgin mekanizmalar olarak öne çıkmaktadır [3]. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş Bohler K390 çeliğinin kaplamalı karbür uçlarla frezelenmesinde düşük pürüzlülük ve aşınma yüksek sıcaklıkta temperlenmiş numunede elde edilmiştir. İşlenmiş yüzeylerde taşlama kalitesi elde edilmiştir [4]. 58 HRC AISI D6 çeliğinin karbür kesiciler ile frezelenmesinde, artan ilerleme yüzey pürüzlülüğünün arttırmıştır. İstenen düşük yüzey pürüzlülüğünü elde etmede kesme hızı ve ilerlemenin daha az olduğu koşullar uygundur [5]. Scandiffio vd., kesme hızı ile takım-yüzey temasının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırmıştır. Takım merkezi ile iş parçası arasındaki temasın, sertleştirilmiş çeliklerde serbest biçimli yüzeyleri frezeleme sırasında takım ömrünü artırabileceğini ve pürüzlülüğü azaltabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, takım ömrü için en etkili faktörün takım titreşimi olduğunu göstermektedir. Titreşim ne kadar yüksekse, takım ömrü o kadar kısa olur [6, 7]. Benzer bir çalışmada, sertliği 62 HRC olan AISI D6 çeliğinin kavisli, dışbükey yüzeyinin küresel uçlu parmak freze ile frezelemesinde takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü araştırılmıştır. Yapışma ve kesme kenarının ufalanması belirgin aşınma mekanizmasıdır [8]. Castanhera ve Diniz, ilerleme yönü (yukarı ve aşağı doğru daire) ve eğim açısı (takım eğimi) değişkenleriyle dairesel bir dışbükey sertleştirilmiş çelik iş parçasında birkaç frezeleme deneyi gerçekleştirmişlerdir. Yukarı doğru takım yolunun çoğunlukla yüksek pürüzlülük değerleri sunduğunu ve bunun da takım eğiminden etkilendiğini göstermektedir. Aşağı doğru takım yolu, daha az pürüzlülük değeri sunmuştur [9]. Gaitonde, AISI D2 çeliğin frezeleme sırasında kesme hızı, ilerleme hızı ve radyal kesme derinliğinin frezeleme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisi, yanıt yüzey metodolojisi (RSM) tabanlı modeller kullanılarak

araştırmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile doğrusal olmayan bir şekilde arttığı ortaya çıkmıştır [10]. Seramik kesici takımlar, işlenmesi zor malzemelerin kesilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak seramik frezeleme kesicilerinin uygulamaları, tasarımları ve üretim kısıtlamaları nedeniyle sınırlıdır. Sertleştirilmiş AISI H13 çeliğin (HRC 60-62) işlenmesinde Si₃N₄, Ti (C, N), SG4 ve LT55 dahil olmak üzere dört seramik parmak freze takımının kesme performanslarını incelenmiş. Seramik parmak frezeleme takımlarının kesme kuvvetlerinin, belirtilen sinterlenmiş karbür takımlardan daha az olduğu ve Si₃N₄, Ti (C, N) ve LT55 gibi bu tür seramik takımların daha iyi yüzey kaliteleri ürettiği, daha uzun takım ömürlerine sahip olduğu belirtilmiştir [11]. AISI H13 sertleştirilmiş çeliğin yüzey frezelemesinde karbür kesici takım kullanıldığında nispeten uzun bir takım ömrü ve düşük enerji tüketimi elde etmek için simetrik frezelemede 0.2 mm / diş civarında bir değere sahip diş başına ilerleme ve 150 ila 250 m / dak arasında değişen kesme hızı kullanılmalıdır. Aşağı frezelemede diş başına ilerleme 0,15 ila 0,2 mm / diş aralığında ve kesme hızı 100 ila 200 m / dak arasında olmalıdır. Yukarı frezelemede 0,2 mm / dişe yakın diş başına ilerleme ve 200 ile 300 m / dak arasında kesme hızı benimsenmelidir [12]. Machado ve Diniz çalışmalarında, sürekli ve darbeli kesme sırasında birkaç sertleştirilmiş çeliğin işlenmesinde ortaya çıkan takım aşınma mekanizmalarını analiz etmektedir. Tornalama ve frezeleme işlemlerinde uygulanan kübik bor nitrid, seramik ve PVD kaplı karbür uçlar gibi farklı takım malzemesi türlerinin aşınma mekanizmaları analiz edilmiştir [13]. Hassanpour vd., çalışmalarında minimum miktarda yağlayıcı kullanılarak 4340 alaşımli çeliğin sert frezelemesinde kesme parametreleri ile işlenmiş yüzey bütünlüğü arasındaki ilişki araştırmıştır [14]. AISI S1 soğuk iş takım çeliğinin seramik ve CBN kesici takımlarla yüksek hızda sert tornalaması üzerine yapılan çalışmada, seramik ve CBN takımlarının performansı, işleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına göre değerlendirilmiştir. CBN kesici, seramik kesiciye göre daha iyi bir performans sergilemiştir. Sertleştirilmiş iş parçasının tornalanmasından sonra taşlama

kalitesinde yüzeyler elde edilmiştir [15]. Günay, aşınmış bir makine parçasının sert frezelenmesinde sürdürülebilirlik için işleme koşullarının kapsamlı analizini yapmıştır. İlk olarak X40CrMoV5-1 sıcak iş takım çeliğinden yapılan kesme bıçağının aşınmış bölgesi elektrik ark kaynağı ile dolduruldu. Ardından, sert dolgu kaynaklı parçanın işlenmesinde farklı kaplamalı karbür uçların performansını analiz etmek için sert frezeleme deneyleri yapılmıştır. Optimum sonuçlar PVD-AlTiCrN kaplı takım ile elde edilmiştir [16].

Sertleştirilmiş çeliğin yüksek hızlı yüzey frezelemesine ilişkin daha fazla araştırma yapılmalıdır. Aralıklı sert kesmede daha yüksek kesme hızında ortaya çıkan özelliklere odaklanmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Sert frezelemede geçici kesme sıcaklıklarının doğru analizinin yapılabilmesi için, frezelemede ısı kaynağı yoğunluğunun ve alanının gelişimine dikkat edilmelidir. Hasar mekaniği, aralıklı sert kesmede takım malzemesinin mikroskobik hasar analizi ile makroskopik kırılması arasında bir köprü olarak düşünülebilir [17]. Kesici kenardaki olası aşınma mekanizmalarını doğru bir şekilde incelemek ve analiz etmek çok önemlidir. Genellikle 35 HRC'nin üzerinde olan yüksek sertliğe sahip malzemeleri işlerken, yüksek kesme kuvvetleri ve oluşan ısı nedeniyle hızlı takım aşınmasına ve kısa takım ömrü oluşur. Sertlik 45 HRC'yi aştığında, durum daha da kötüleşir çünkü talaşlar, bölgesel kesme, artan kuvvetler ve sıcaklıklar ile oluşan sürekli tırtıklı tiplere değişir. Bu tip işleme koşulları için seramik ve CBN kesici malzemeleri kullanılır. Darbeli kesimde sinterlenmiş karbürler sıklıkla kullanılır. Sert işlemede aşınma mekanizması analizi bu nedenle özel bir önem taşır.

Kesici takım üretiminde ortaya çıkan gelişmeler başta sertleştirilmiş çelikler olmak üzere işlenmesi zor olan pek çok malzemenin işlenmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca endüstriyel alanda pek çok üretici parçaların sertleştirildikten sonra işlenmesine olan ilgilerini arttırmaktadır. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, çeliklerin sertleştirildikten sonra frezelenmesine yönelik çok sayıda çalışma vardır. Ancak, geliştirilen çelik türleri ve kesici uçlar bu alandaki çalışmaların devam etmesini sağlamaktadır. Hazırlanan

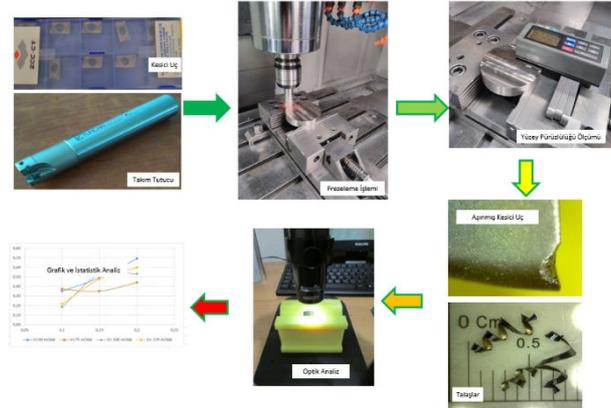
çalışmada, ağırlıklı olarak kalıp ve kesici yapımında kullanılan sertleştirilmiş (58 HRC) AISI S1 soğuk iş takım çeliğinin karbür kesiciler ile frezelenme performansı araştırılmıştır. Performans değerlendirmesinde yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve talaş oluşumu dikkate alınmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

Deneylerde 58 HRC sertliğinde DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği numune kullanılmıştır. DIN 1.2550 soğuk iş takım çelikleri, aşınmaya ve darbelere dirençli bir çeliktir. Kesme zımbaları, kırıcılar, desen kalıpları, ahşap işleme takımları ve metal para basma takımları için kullanılır. DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1: Frezeleme numunesi DIN 1.2550 çeliğinin kimyasal bileşimi (ağırlıkça %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	V	W
0.6	0.74	0.33	0.012	0.007	1.01	0.16	1.88



Şekil 1: Deneysel prosedür

Frezeleme deneyleri max 8000 d/dak devir sayısı ve 7.5 kW motor gücündeki AWEA BM-850 CNC tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde APKT 11T308-PM PVD Al₂O₃ kaplamalı P10-P30 kalite karbür kesici uçlar (Şekil 1) kullanılmıştır. Bu uçlar Ø 25 mm silindirik takım tutucu ve bilyalı pens ile fener miline bağlanmıştır. Yüzey pürüzlülükleri TIME TR200 izleyici uç tip pürüzlülük ölçüm cihazı ile üç değişik bölgeden ölçülmüştür. Ölçümler sırasında örnekleme uzunluğu 0.8 mm alınmıştır. INSIZE elektronik mikroskop ile deneylerden sonra kesici uçların görüntüleri aşınma davranışlarının belirlenmesi için alınmıştır. Literatürden ve kesici takım üreticilerinin tavsiyelerine göre deneylerde

kullanılacak kesme parametreleri belirlenmiştir. Parametre seviyelerinin belirlenmesinde öncelikle deneme deneyi yapılmış ve buna göre parametreler yenilenmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Kesme parametreleri

Parametreler	Seviyeler			
	1	2	3	4
Kesme Hızı (Vc), m/dak	50	75	100	125
İlerleme (f), mm/diş	0.1	0.15	0.2	--
Kesme Derinliği (ap), mm	0.25			

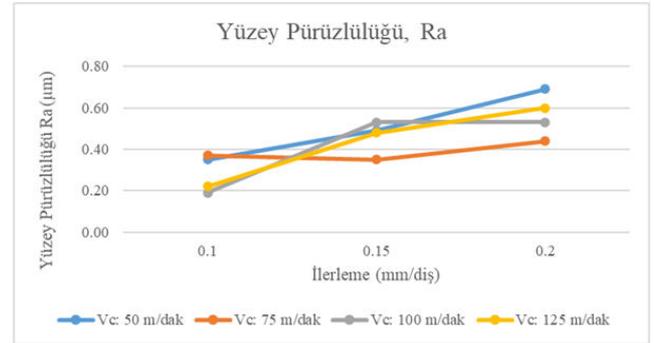
Frezeleme operasyonları için aynı yönlü frezeleme yöntemi kullanılmıştır. Ölçülen pürüzlülük değerinin ortalaması alındıktan sonra ilişki grafikleri hazırlanmıştır. Kesici takım aşınmaları ve talaş incelemeleri için elektronik mikroskop kullanılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deney parametrelerine göre gerçekleştirilen frezeleme deneylerinden sonra ölçülen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri, kesici uç aşınma ve talaş görüntüleri değerlendirilmiştir. Ra ile frezeleme parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 2’de verilmiştir. Grafikte, tüm kesme hızı değerleri için ilerlemenin artışıyla Ra değeri artmıştır. Artan ilerlemeye bağlı olarak frezelenen yüzeyde kesici izleri arasındaki mesafenin artması pürüzlülük değerini arttıracaktır. Teoride yüzey pürüzlülüğü önce ilerleme ve kesici uç yarıçapının bir fonksiyonudur. İlerlemenin artması Ra’yı arttırırken, uç yarıçapının artması azaltmaktadır. Ra’nın artma eğilimi 75 m/dak kesme hızında ilerleme artışına göre fazla değildir. İlerlemenin 0,1 minimumdan 0,2 mm/diş çıkmasıyla Ra artışı 2.78 kat olarak 125 m/dak kesme hızında ölçülmüştür.

Deney malzemesinin 58 HRC sertlikte olmasına bağlı olarak kesme hızının artmasıyla artan takım aşınması ve kesme geometrisinin hasar görmesi de bu drumun sebebi olabilir. 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş ilerlemede en düşük Ra değeri 0,19 μm ölçülmüştür. Belli bir aşamaya kadar, artan kesme hızının kesme bölgesinde kesme işlemini kolaylaştırması nedeniyle Ra değerinin azalması beklenirken bu deneylerde düzenli bir değişim görülmemiştir. Bu durum sertleştirilmiş çeliğin frezelenmesinde ortaya çıkan şartlara karbür kesicinin tepkisi ile ilişkilendirilebilir.

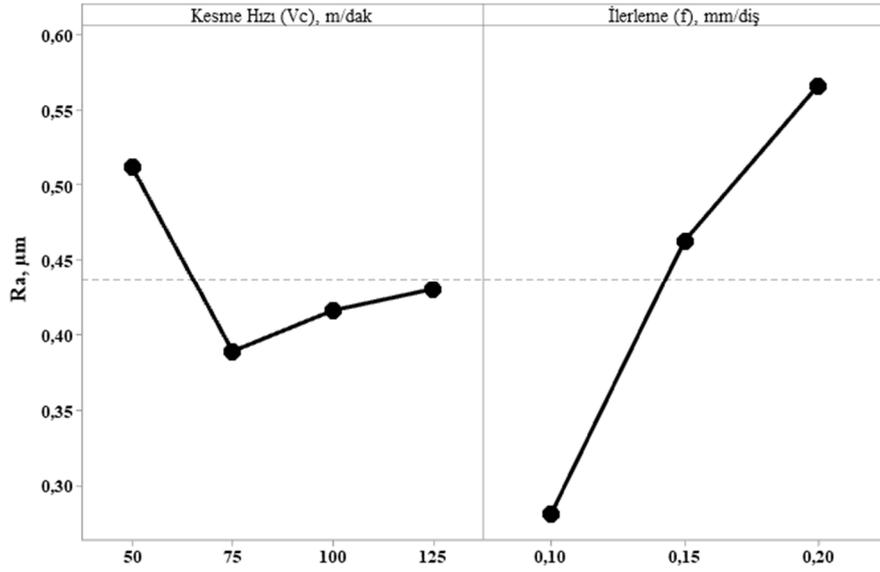
Frezeleme parametreleri ile Ra arasındaki ilişkinin analiz edilmesi için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Tablo 3’te ANOVA sonuçları verilmiştir. Burada bir parametrenin P değeri 0,05 den küçükse % 95 güven düzeyinde parametredeki değişimlerin sonuç üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır. İlerleme için $P=0,014<0,05$ olduğundan anlamlıdır. Fakat kesme hızı $P=0,475>0,05$ olduğundan kesme hızı seviyelerindeki değişimin Ra sonuçlarını anlamlı düzeyde etkilemediği söylenebilir.



Şekil 2: Farklı kesme hızlarında Ra değerinin ilerlemeye göre değişimi

Tablo 3: Ra değerlerinin ANOVA sonuçları

Faktör	Ser. Der.	Kareler toplamı	Varyans	F-değeri	P-değeri	% Katkı
Kesme Hızı, Vc	3	0.02513	0.008376	0.95	0.475	8.35
İlerleme, f	2	0.16626	0.083132	9.41	0.014	82.85
Hata	6	0.05303	0.008838			8.80
Toplam	11	0.24442				

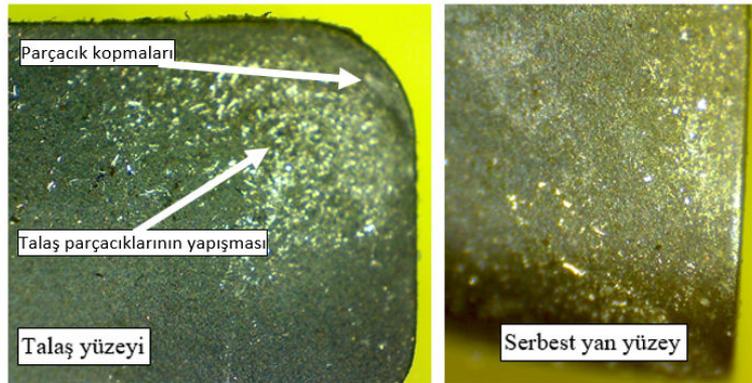


Şekil 3: Ra değerleri için ana etki grafiği

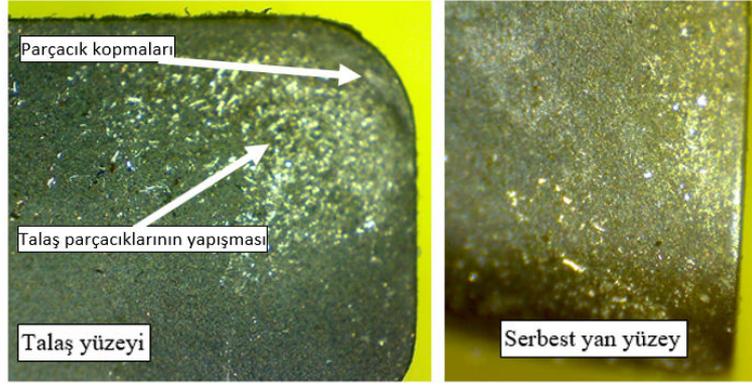
Şekil 3'teki ana etki grafiğine bakıldığında, yatay ortalama çizgisine göre daha dik açı yapan ilerleme eğrisinin Ra üzerindeki etkinliğinin fazla olduğu söylenebilir. Ana etki grafiği de ilerleme artışının Ra'yı arttırdığını teyit etmektedir. Kesme hızı ise değişken bir tavır sergilemiştir.

58 HRC sertlikteki DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin kuru şartlarda frezelenmesinde kesici uçta aşınma olması mümkündür. Yapılan her frezeleme deneyinden sonra kesici kenar elektronik mikroskop ile incelenmiştir. Şekil 4'te $V_c=50$ m/dak ve $f=0.15$ mm/diş parametresinde kullanılan kesicinin aşınma görüntüsü verilmiştir. Talaş yüzeyini gösteren şekle bakıldığında, yer yer küçük

kopmaların olduğu ve krater aşınması başlangıcı görülmektedir. Bu aşınmalar abrasiv aşınma mekanizması ve sert parça frezeleme sırasında oluşan yüksek kuvvetlerin sonucunda oluşmaktadır. Serbest yan yüzeye bakıldığında ise belirgin bir aşınma görülmemiştir. Şekil 5'te $V_c=125$ m/dak ve $f=0.15$ mm/diş parametresinde kullanılan kesicinin aşınma görüntüsü verilmiştir. Talaş yüzeyine bakıldığında pul pul dökülme ve artan parçacık kopması, serbest yan yüzeyde ise abrasiv aşınmanın yüksek kesme hızında hızla ilerlediği ve kesici uç kenar kırılmasıyla sonuçlandığı tespit edilmiştir.

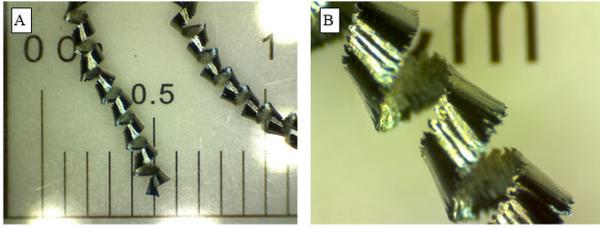


Şekil 4: $V_c=50$ m/dak ve $f=0.15$ mm/diş parametrelerinde kesici kenarda aşınma

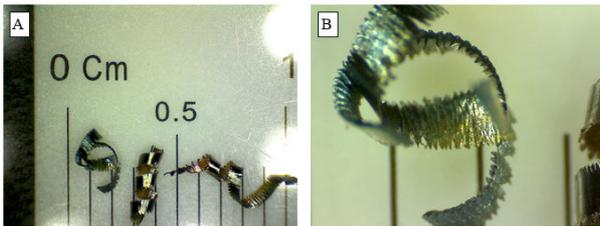


Şekil 5: $V_c = 125$ m/dak ve $f = 0.15$ mm/diş parametrelerinde kesici kenarda aşınma

Talaş kaldırma işleminin değerlendirilmesinde talaş formu da ele alınmaktadır. Frezeleme deneyleri sırasında toplanan talaşlar elektronik mikroskopta incelenmiştir. Şekil 6'da $V_c = 50$ m/dak ve $f = 0.15$ mm/diş parametresinde, Şekil 7'de ise $V_c = 125$ m/dak ve $f = 0.15$ mm/diş parametresinde toplanan talaşların görselleri verilmiştir. A harfli resimler genel talaş, B harfli resimler genel talaş görüntüsünün yakından görüntüsüdür.



Şekil 6: $V_c = 50$ m/dak ve $f = 0.15$ mm/diş parametrelerindeki talaşlar



Şekil 7: $V_c = 125$ m/dak ve $f = 0.15$ mm/diş parametrelerindeki talaşlar

Resimler incelendiğinde, 125 m/dak kesme hızında (Şekil 7) talaşın eğrilik yarıçapının 50 m/dak kesme hızına göre göre (Şekil 6) fazla olduğu görülmektedir. Talaşın oluşumu sırasında eğrilik yarıçapı kesme hızının artmasıyla artar. Artan kesme hızı kesme kuvvetini arttırarak talaş

üzerindeki bükme momentini artırır [18]. Ayrıca talaşların plastik deformasyonunu artar ve talaşların tırtıklı kenarları oluşmasına yol açar.

4. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada 58 HRC sertlikteki DIN 1.2550 çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve talaş formu incelenmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Yüzey pürüzlülüğü ilerlemenin artmasıyla önemli ölçüde arttırmıştır.
- ANOVA sonuçları ve ana etki grafiği ilerleme parametresinin en etkin parametre olduğunu ve kesme hızının etkisini olmadığını göstermiştir.
- 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş ilerlemede 0,19 μm değerinde en düşük R_a ölçülmüştür.
- Kesici takım aşınmaları açısından, abrasiv aşınma, pul pul dökülme, yan yüzey aşınması ve kırılma görülmüştür. Düşük kesme hızındaki aşınma kabul edilebilir düzeydedir.
- Artan kesme hızına bağlı olarak talaşlardaki deformasyon artmıştır.

5. KAYNAKLAR

- [1] T. Özel, Y. Karpat, L. Figueira, and J. P. Davim, "Modelling of surface finish and tool flank wear in turning of AISI D2 steel with ceramic wiper inserts," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 189, no. 1-3, pp. 192-198, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.01.021.
- [2] H. Chandrasekaran and R. M'Saoubi, "Improved machinability in hard milling and strategies for steel development," *CIRP Ann.* -

- Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 93–96, 2006, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60374-6.
- [3] A. Iqbal, H. Ning, I. Khan, L. Liang, and N. U. Dar, “Modeling the effects of cutting parameters in MQL-employed finish hard-milling process using D-optimal method,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 199, no. 1, pp. 379–390, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.08.029.
- [4] S. Cetinkaya and A. Kacal, “Investigation of the heat treatment effect in milling of K390 powder metallurgical steel,” *Kovove Materialy-Metallic Materials*, vol. 52, pp. 209–218, 2014, doi: 10.4149/km.
- [5] A. Kaçal, “Sertleştirilmiş EN X210CrW12 Soğuk İş Takım Çeliğinin Karbür Kesici İle Frezeleme Performansının Araştırılması,” IMOFE VIII, Antalya, Türkiye, 2019.
- [6] I. Scandiffio, A. E. Diniz, and A. F. de Souza, “The influence of tool-surface contact on tool life and surface roughness when milling free-form geometries in hardened steel,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 92, no. 1–4, pp. 615–626, 2017, doi: 10.1007/s00170-017-0093-8.
- [7] I. Scandiffio, A. E. Diniz, and A. F. de Souza, “Evaluating surface roughness, tool life, and machining force when milling free-form shapes on hardened AISI D6 steel,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 82, no. 9–12, pp. 2075–2086, 2016, doi: 10.1007/s00170-015-7525-0.
- [8] H. Kull Neto, A. E. Diniz, and R. Pederiva, “Tool life and surface roughness in the milling of curved hardened-steel surfaces,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 87, no. 9–12, pp. 2983–2995, 2016, doi: 10.1007/s00170-016-8640-2.
- [9] I. da C. Castanhera and A. E. Diniz, “High Speed Milling of Hardened Steel Convex Surface,” *Procedia Manuf.*, vol. 5, pp. 220–231, 2016, doi: 10.1016/j.promfg.2016.08.020.
- [10] V. N. Gaitonde, S. R. Karnik, C. H. A. Maciel, J. C. Rubio and A. M. Abroa, “Machinability Evaluation in Hard Milling of AISI D2 Steel” *Materials Research*, vol. 19, no. 2, pp. 360–369, 2016, doi: 10.1590/1980-5373-MR-2015-0263
- [11] B. Wang and Z. Liu, “Cutting performance of solid ceramic end milling tools in machining hardened AISI H13 steel,” *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 55, pp. 24–32, 2016, doi: 10.1016/j.ijrmhm.2015.11.004.
- [12] X. Cui, X. Zheng, and J. Guo, “Optimization of cutting conditions in hard milling with the performance of cemented carbide tool material considered,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 96, no. 5–8, pp. 2161–2173, 2018, doi: 10.1007/s00170-018-1782-7.
- [13] Á. R. Machado and A. E. Diniz, “Tool wear analysis in the machining of hardened steels,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 92, no. 9–12, pp. 4095–4109, 2017, doi: 10.1007/s00170-017-0455-2.
- [14] H. Hassanpour, M. H. Sadeghi, A. Rasti, and S. Shajari, “Investigation of surface roughness, microhardness and white layer thickness in hard milling of AISI 4340 using minimum quantity lubrication,” *J. Clean. Prod.*, vol. 120, pp. 124–134, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.091.
- [15] A. Kaçal and F. Yildirim, “High speed hard turning of AISI S1 (60WCrV8) cold work tool steel,” *Acta Polytech. Hungarica*, vol. 10, no. 8, 2013.
- [16] M. Günay, “Modeling and multiple optimization in face milling of hardfacing welding applied steel: Force, roughness, power” *Proc Ins ec Eng, Part C: J Mech Eng Sci*, 2022, doi:10.1177/09544062211065998
- [17] X. Cui, F. Jiao, B. Zhao, and J. Guo, “A review of high-speed intermittent cutting of hardened steel,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 93, no. 9–12, pp. 3837–3846, 2017, doi: 10.1007/s00170-017-0815-y.
- [18] S. Debnath, M. M. Reddy, and Q. S. Yi, “Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on surface roughness and tool wear in turning process using Taguchi method,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 78, pp. 111–119, 2016, doi: 10.1016/j.measurement.2015.09.011.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Ağaç Malzemede Termo-Mekanik Yoğunlaştırmanın Parlaklık ve Sertliğe Etkisi

Effect of Thermo-Mechanical Densification on Brightness and Hardness in Wood Material

Sait Dündar Sofuoğlu* 

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Simav/Kütahya

Geliş / Received: 24.04.2022

Kabul / Accepted: 18.05.2022

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Sait Dündar Sofuoğlu, sdundar.sofuoglu@dpu.edu.tr

ÖZ: Termo-Mekanik (TM) yoğunlaştırmanın masif ağaç malzemenin parlaklık ve sertliği üzerine etkisini belirlemek çalışmanın temel hedefidir. Bu amaç doğrultusunda ülkemizde doğal yetişen Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana*) deneme materyali olarak seçilmiştir. %0, %20 ve %40 oranlarında TM yöntemle yoğunlaştırılan masif ağaç malzemelerde sertlik ölçümü ve parlaklık ölçüm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler grafikler haline getirilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere göre %0, %20 ve %40 yoğunlaştırma oranlarında sırasıyla 60° 'de parlaklık değerleri 2.84, 2.90, 3.47 sertlik değerleri ise 42.70, 44.78, 57.55 olarak tespit edilmiştir. Yoğunlaştırma ve yoğunlaştırma oranının artması ile parlaklık ve yüzey sertlik değerlerinde artma meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termo-mekanik, yoğunlaştırma, parlaklık, sertlik, Uludağ göknarı

ABSTRACT: The main objective of the study is to determine the effect of Thermo-Mechanical (TM) densification on the brightness and hardness of solid wood material. For this purpose, Uludağ fir (*Abies nordmanniana*), grown naturally in Turkey, was chosen as the experimental material. Hardness measurement and brightness measurement were performed on solid wood materials that were densified by the TM method at 0%, 20%, and 40%. Graphs were drawn with the obtained values, and the results were evaluated comparatively. According to the data obtained, brightness values at 60° at 0%, 20%, and 40% concentration ratios were determined as 2.84, 2.90, and 3.47, hardness values as 42.70, 44.78, 57.55. The surface brightness and hardness values increased with the densification and densification ratio increase.

Keywords: Thermo-mechanic, densification, brightness, hardness, Uludağ fir

1. GİRİŞ

Ağaç malzemenin bazı olumsuz özelliklerini ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar ve araştırmalar sonucunda, farklı "Ahşap Modifikasyonu Yöntemleri" geliştirilmiş ve uygulanır hale gelmiştir [1-4].

Yüksek yoğunluktaki ya da yoğunluğu artırılmış ağaç malzemeler, alternatif diğer malzemelerin yerine kullanılabilir [5-6].

Masif ağaç malzemenin yoğunluğu arttıkça, boşluk hacminde azalmanın meydana gelmesi nedeniyle mukavemet özellikleri artmaktadır [7]. Böylece yoğunlaştırma ile ağaç malzemenin mekanik özellikleri iyileştirilmekte ve higroskopikliği azaltılabilmektedir [8].

Ağaç malzeme çeşitli yöntemler kullanılarak yoğunlaştırılabilmektedir. Bunlar; Termo-Mekanik (TM), Termo-Higro-Mekanik (THM), Termo-Vibro-Mekanik (TVM) yoğunlaştırma ve Viskoelastik-Termal-Sıkıştırma (VTC) yöntemleri olarak sıralanabilmektedir [9].

TM yoğunlaştırma açık bir sistemde sıcaklık ve basıncın etkisi altındaki ahşap malzemenin yoğunluğunun artırılması işlemidir. TM yoğunlaştırma işlem süreci, 150-200°C arasında değişen sıcaklık derecelerinde, %40, %50 ve %60 sıkıştırma oranlarında uygulanabilmektedir. Ahşap malzemenin TM yöntemle sıkıştırılabilme özellikleri; yoğunluk, yaz odunu oranı, hücre çeperi hacmi gibi ağaç malzemenin anatomik özellikleri ile sıkıştırma yönüne bağlı bulunmaktadır [5].

Yoğunlaştırma işlemi sonucunda ağaç malzemedeki olumlu ve olumsuz birçok değişiklik meydana gelebilmektedir. Bu değişimlerin neler olduğunun bilinmesi yoğunlaştırılmış malzemenin değerlendirilmesinde ve kullanım yerinin optimum belirlenmesinde önemli bulunmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında bu çalışmada Uludağ göknarı ağaç türünde kullanım yeri için önemli olan yoğunlaştırma işleminin parlaklığa ve sertliğe etkisi araştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Bu çalışmada Türkiye’de doğal olarak yetişen Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana*) ağaç türü deney materyali olarak kullanılmıştır.

2.1.1 Yöntem

Deney örnekleri ağaç türüne ait tomruktan TS ISO 3129 standardında belirtilen esaslara uyularak diri odun kısmından elde edilmiştir [10]. Hazırlanan kaba ölçüdeki ağaç malzemeler doğal iklim koşullarında hava kuru rutubet oranına ulaşmaya kadar bekletilmiştir.

Sıkıştırılarak yoğunlaştırma ile 20 mm kalınlık elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla %20 ve %40 sıkıştırma oranları ile yoğunlaştırma işlemi yapılacak 430 mm x 85 mm ölçülerindeki deney örnekleri 25 ve 33,3 mm olarak iki farklı kalınlıkta hazırlanmıştır.

Deney örnekleri sonrasında TS 2471’e göre %12 rutubet miktarına ulaşması için $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve bağıl nemi 65 ± 5 olan iklimlendirme kabini içinde değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir [11] (Şekil 1).



Şekil 1: Klimatize dolabı



Şekil 2: Sıkıştırılarak yoğunlaştırma işlemlerinde kullanılan hidrolik pres (Gazi Üniversitesi)

Deney örnekleri açık sistemde Termo-Mekanik (TM) yöntemle Isıtma +15 dakika süre ile 140° pres sıcaklığında sıkıştırılarak yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaştırma işlemi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bünyesinde bulunan, tabla ebatları 60x60 cm, sıcaklık ve basınç kontrolü yapılabilen özel

tasarlanmış hidrolik pres ile 60 mm/dk yükleme hızında radyal yönde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Yoğunlaştırılan malzemeler 15 dk pres altında bekletilmiş sonrasında presten alınarak, geri esneme etkisini en aza indirmek için 5 kg/cm² 'lik basınç altında bekletilerek oda sıcaklığına kadar soğumaları sağlanmışır.

Çalışmada 60° de Glossmetre kullanılarak parlaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 60° de hem mat hem parlak yüzeylerde ölçüm yapıldığında çok fazla hata yapılmamış sayılır [12], [13]. Glossmetrede pencerenin birinden yüzeye ışık gönderilir, diğer alıcı penceresinden yüzeyden yansıyan ışık alınarak kaydedilme işlemi yapılmaktadır. TS EN ISO 2813'de belirtilen esaslara göre ölçümler gerçekleştirilmiştir [14]. Şekil 3'de parlaklık ölçümlerinde kullanılan BYK Gardner marka Micro-TRI-gloss µ (Glossmetre) parlaklık ölçme cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3: Parlaklık ölçüm cihazı

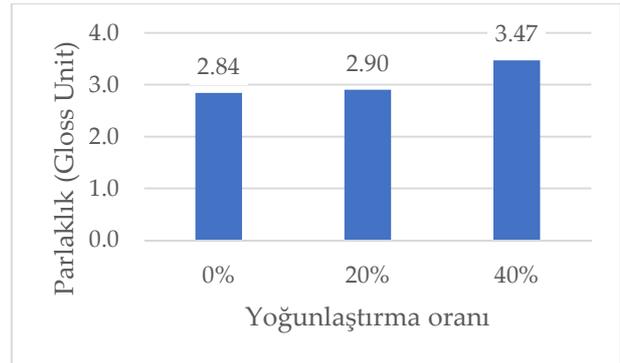
Numunelerin yüzey sertliklerinin ölçümünde Tronic marka Shore D sertlik ölçüm cihazı kullanılmışır. Sofuoğlu ve Yesil (2016) yaptıkları çalışmada pandüllü sertlik ölçme cihazı ve durometer ile yapılan sertlik ölçümlerinde yaklaşık sonuçlar elde edildiği tespit edilmişler ve her iki metodun ahşap malzemelerin sertlik ölçümlerinde kullanmalarının uygun olduğu sonucuna varmışlardır [15]. Bu yöntemde belli kuvvet ile ahşap numuneye batırılan iğnenin derinliği ölçülerek ahşabın göreceli sertlik derecesinin tayini yapılmaktadır. Uçun gerisinde bulunan yay malzemenin sertliğine göre gerilmekte ve yayın gerilmesine bağlı olarak ahşabın sertliği belirlenebilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4: Shore D sertlik ölçüm cihazı

3. BULGULAR

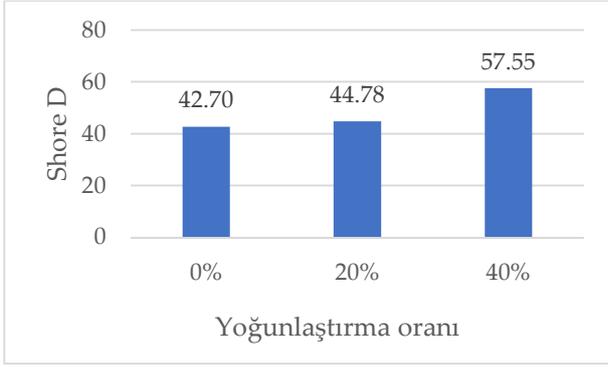
Yoğunlaştırma oranının parlaklığına etkisini belirlemek için yapılan ölçümlerde ortalama parlaklık değerleri Şekil 5' de verilmektedir.



Şekil 5: Yoğunlaştırma oranının parlaklığına etkisi.

Ölçüm sonuçlarına göre yoğunlaştırma işlemi ile parlaklık değerlerinde artış meydana gelmiştir. Yoğunlaştırılmamış numunelerde parlaklık değerleri 2.84 iken, %20 lik yoğunlaştırılmış numunelerdeki 2.90 ve %40 yoğunlaştırılmış numunelerde 3.47 olarak elde edilmiştir. Yoğunlaştırma ve yoğunlaştırma oran artışı ile parlaklık değerlerinde de artış meydana gelmektedir. %20 den %40 yoğunlaştırma arasındaki parlaklık artışı en yüksek olarak tespit edilmiştir. Şenol ve Budakçı (2016) çalışmalarında yoğunlaştırma ile parlaklıkta artış meydana geldiğini belirtmişlerdir [3].

Yoğunlaştırma oranının sertliğe etkisinin belirlemek için yapılan ölçümlerde ortalama sertlik değerleri Şekil 6' da verilmektedir.



Şekil 6: Yoğunlaştırma oranının sertliğe etkisi.

Sertlik ölçüm sonuçlarına göre yoğunlaştırma işlemi ile sertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. Yoğunlaştırılmamış numunelerde sertlik değeri 42.70 iken, %20'lik yoğunlaştırılmış numunelerdeki 44.78 ve %40 yoğunlaştırılmış numunelerde 57.55 olarak elde edilmiştir. Yoğunlaştırma ve yoğunlaştırma oran artışı ile parlaklık değerlerinde de artış meydana gelmektedir. %20 den %40 yoğunlaştırma arasındaki parlaklık artışı en yüksek olarak tespit edilmiştir.

Yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerde sertlik değişimleri ile ilgili bazı literatür incelendiğinde; sertlik yoğunlaşma oranı ile korelasyon göstermekte, yoğunlaşma sonrası ve yoğunlaşma oranı arttıkça sertlik artmaktadır [1, 20]. Sıcaklığa ve işlem süresine bağlı olarak, yüzey yoğunlaştırılmış huş ağacının sertliği, yoğunlaştırılmamış ahşabın sertliğinden 1,4 ila 2,2 kat daha fazla bulunmuştur [21]. Sertlik açısından literatür ile çalışma sonuçları benzer eğilim göstermektedir.

4. SONUÇ

Yoğunlaştırma işlemleri ile ağaç malzemede fiziksel ve mekanik birçok özellik değişikliği gösterebilmektedir. Bu çalışmada %0, %20 ve %40 oranlarında TM yoğunlaştırma uygulanmış ve yüzey parlaklık ve sertlik değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Yoğunlaştırılmamış numunelerde parlaklık değeri 2.84 iken, %20 lik yoğunlaştırılmış numunelerdeki 2.90 ve %40 yoğunlaştırılmış numunelerde 3.47 olarak elde edilmiştir.

- Yoğunlaştırma ve yoğunlaştırma oran artışı ile parlaklık değerlerinde artış meydana gelmektedir.
- Yoğunlaştırılmamış numunelerde sertlik değeri 42.70 iken, %20 lik yoğunlaştırılmış numunelerdeki 44.78 ve %40 yoğunlaştırılmış numunelerde 57.55 olarak elde edilmiştir.
- Yoğunlaştırma ve yoğunlaştırma oran artışı ile sertlik değerlerinde artış meydana gelmektedir.
- Yüzey sertliğinin önemli olduğu kullanımlarda yoğunlaştırma uygulanmış ağaç malzemeler tercih edilebilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] L. Rautkari, M. Properzi, F. Pichelin, and M. Hughes, "Surface modification of wood using friction," *Wood Sci. Technol.*, vol. 43, no. 3-4, pp. 291-299, 2009, doi: 10.1007/s00226-008-0227-0.
- [2] S. Şenol, "Termo- Vibro-Mekanik (TVM) işlem görmüş bazı ağaç malzemelerin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, 2018.
- [3] S. Şenol and M. Budakçı, "Mekanik odun modifikasyon metotları," *Mugla Journal of Science and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 53-53, 2016, doi: 10.22531/muglajsci.283619.
- [4] M. Tosun, "Termo-Mekanik yoğunlaştırmanın masif ağaç malzemenin işlenme özellikleri üzerine" Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2021.
- [5] A. Kutnar and M. Šernek, "Densification of wood," *Zb. Gozd. Lesar.* vol. 82, pp. 53-62, 2007.
- [6] H. Pelit, A. Sönmez, and M. Budakçı, "Effects of ThermoWood® Process Combined with Thermo-Mechanical Densification on some Physical Properties of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.)," *BioResources*, vol. 9, no. 3, 2014, doi: 10.15376/biores.9.3.4552-4567.
- [7] O. Ulker, O. Imirzil, and E. Burdurlu, "The effect of densification temperature on some

- physical and mechanical properties of scots pine (*Pinus sylvestris* L.)," *BioResources*, vol. 7, no. 4, pp. 5581–5592, 2012, doi: 10.15376/biores.7.4.5581-5592.
- [8] L. M. Arruda and C. H. S. del Menezzi, "Effect of thermomechanical treatment on physical properties of wood veneers," *Int. Wood Prod. J.*, vol. 4, no. 4, pp. 217–224, 2013, doi: 10.1179/2042645312Y.0000000022.
- [9] M. Tosun and S. D. Sofuoğlu, "Ağaç malzemenin sıkıştırılarak yoğunlaştırılması konusunda yapılan çalışmalar," *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, vol. 4, no. 1, pp. 91–102, Jun. 2021, doi: 10.33725/mamad.911947.
- [10] "Odun-küçük kusursuz odun numunelerinin mekanik ve fiziksel muayenesi için genel gerekler ve numune alma yöntemleri", TSE ISO 3129, T.S.E. Standardı, Ankara, 2021.
- [11] "Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini", TS 2471, T.S.E. Standardı, Ankara, 1976.
- [12] R. Özen ve A. Sönmez, Ahşap yüzeyler için hazırlanan verniklerin fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilere karşı dayanaklıkları, *Doğa Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi*, pp 1428-36, 1990.
- [13] M. Ordu ve S.D. Sofuoğlu, "Comparison of natural color and brightness value for the various types of wood", *Ejovoc*, Vol. 6, no. 4, pp. 43-51, 2016.
- [14] "Boyalar ve vernikler-Metalik olmayan boya filmlerinin 20, 60 ve 85 açılarda parlaklık tayini", TS EN ISO 2813, T.S.E. Standardı, Ankara, 2014.
- [15] S. D. Sofuoğlu ve H. Yeşil, "Ahşap sertlik değerlerinin farklı metotlar kullanılarak karşılaştırılması" in Proc. IMCOFE International Multidisciplinary Congress of Eurasia, Jul. 2016, pp. 480–485.
- [16] H. Pelit, A. Sönmez and M. Budakçı, "Effects of thermomechanical densification and heat treatment on density and Brinell hardness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Eastern beech (*Fagus orientalis* L.)," *BioResources*, vol. 10, no. 2, pp. 3097–3111, 2015, doi: 10.15376/biores.10.2.3097-3111.
- [17] N. Cruz, C. Bustos, M. G. Aguayo, A. Cloutier, and R. Castillo, "Impact of the chemical composition of pinus radiata wood on its physical and mechanical properties following thermo-hygro-mechanical densification," *BioResources*, vol. 13, no. 2, pp. 2268–2282, 2018, doi: 10.15376/biores.13.2.2268-2282.
- [18] S. Şenol and M. Budakçı, "Effect of Thermo-Vibro-Mechanic® densification process on the gloss and hardness values of some wood materials," *BioResources*, vol. 14, no. 4, pp. 9611–9627, 2019, doi: 10.15376/biores.14.4.9611-9627.
- [19] J. Ábrahám, R. Németh, ve S. Molnár, "Thermo-mechanical densification of Pannónia Poplar," in *The Future of Quality Control for Wood & Wood Products*, Edinburgh, UK, May 2010, pp. 4–7.
- [20] M. Budakçı, H. Pelit, A. Sönmez, and M. Korkmaz, "The effects of densification and heat post-treatment on hardness and morphological properties of wood materials," *BioResources*, vol. 11, no. 3, pp. 7822–7838, 2016, doi: 10.15376/biores.11.3.7822-7838.
- [21] A. Laskowska, "The influence of process parameters on the density profile and hardness of surface-densified birch wood (*Betula pendula* Roth)," *BioResources*, vol. 12, no. 3, pp. 6011–6023, 2017, doi: 10.15376/biores.12.3.6011-6023.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Çok Yönlü Sıcak Dövmenin Al-7Si Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisi

Effect of Hot Multi Directional Forging Process on the Mechanical Properties of Al-7Si Alloy

Yasin Alemdağ*, Sadun Karabıyık

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Geliş / Received: 05.05.2022

Kabul / Accepted: 31.05.2022

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Yasin Alemdağ, yalemdag@ktu.edu.tr

ÖZ: Bu çalışmada çok yönlü sıcak dövme işleminin Al-7Si alaşımının yapı ve mekanik özelliklerine etkisi araştırıldı. İlgili alaşım kokil kalıba döküm yöntemiyle üretildi. Dövme işlemi bir doğrultuda serbest şekil değişimine izin verebilen dıştan ısıtmalı bir kalıp içerisinde 150 ton kapasiteli bir pres kullanılarak 1 mm/s pres hızında ve 200 °C sıcaklıkta yapıldı. Alaşımın içyapısı standart metalografi ve XRD analizi ile mekanik özellikleri ise çekme, basma ve sertlik deneyleri ile belirlendi. Çok yönlü dövme işleminden sonra alaşımın içyapısında yer alan silisyumların kırılarak yapı içerisine dağıldığı ve alaşımın dendritik yapısının taneli bir yapıya dönüştüğü gözlemlendi. Çok yönlü dövülen alaşımın akma ve çekme dayanımlarının arttığı, basma dayanımının ise düştüğü belirlendi. Alaşımın kopma uzamasının ise artan çok yönlü dövme çevrim sayısı ile sürekli arttığı görüldü. Ancak alaşımın sünekliğindeki sürekli artışa rağmen akma ve çekme dayanımı ile sertliğinin bir çevrim üzerindeki dövme çevrim sayılarında düştüğü görüldü. Alaşımın söz konusu özelliklerindeki değişimin silisyum parçacıklarının kırılmasından, yapı içerisine homojen dağılmasından ve sıcak dövme işleminin Al-alaşımında yol açtığı dinamik yeniden kristalleşmeden kaynaklandığı belirlendi. Diğer taraftan çok yönlü dövülmüş alaşımın sertliğini 150 °C sıcaklığa kadar koruyabildiği, bu değer üzerindeki sıcaklıklarda ise sertliğinde önemli bir azalmanın meydana geldiği görüldü. Bu bulgu söz konusu sıcaklıklarda alaşımın meydana gelen yeniden kristalleşmeye ve/veya dövme işlemi sırasında oluşan kristallerin büyümesine dayandırılarak açıklandı. Diğer taraftan homojenize edilmiş durumda gevrek bir biçimde kırılan alaşımın dövme işleminin ardından sünek bir biçimde kırıldığı belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Al-Si alaşımları, çok yönlü dövme, aşırı plastik deformasyon, içyapı, mekanik özellikler

ABSTRACT: The aim of this study is to investigate the effect of hot multi directional forging (MDF) on microstructure and mechanical properties of Al-7Si alloy. For this aim, the alloy was cast in a permanent mould and forging was carried out at a press speed of 1 mm/s and a temperature of 200 °C in an externally heated die which allows free deformation in one direction, using a press with a capacity of 150 tons. Microstructure of the alloy was determined by standard metallography and XRD analysis while tensile, compression and hardness tests were used to determine its mechanical properties. The multi directional forging process led to the fragmentation of the silicon particles, their homogenous distribution and elimination of the alloy's dendritic structure. It was determined that the yield and tensile strength and percentage elongation of the forged alloy increased, while the compressive strength decreased. On the other hand, despite the continuous increase in the ductility of the alloy, its yield and tensile strength with hardness decreased with the number of forging cycles over one cycle. Changes observed alloy's properties was attributed to the fragmentation of the silicon particles, their homogeneous distribution with the dynamic recrystallization caused by the hot forging process in Al-alloys. Hot forged alloy maintained its hardness up to 150 °C above which a significant decrease was determined in this value. This finding was explained according to the recrystallization of the alloy at these temperatures and/or the growth of crystals formed during the forging process. The homogenized alloy showed brittle fracture while ductile type fracture was observed in the multi-directional forged alloy.

Keywords: Al-Si alloys, multi directional forging, severe plastic deformation, microstructure, mechanical properties

1. GİRİŞ

Alüminyum-silisyum (Al-Si) alaşımları içten yanmalı motor parçalarından bazılarının imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 2]. Bu durum söz konusu alaşımların düşük yoğunlukları ile ısı genleşme katsayılarından ve dökümlerinin kolay olmasından kaynaklanmaktadır [1, 3]. Bu alaşımların mekanik özellikleri içerdikleri silisyum miktarına ve silisyumların morfolojisine göre değişim sergilemektedir [4, 5]. Şöyle ki alüminyum ve silisyum sıvı durumda birbiri içinde tam çözünebilirken katı durumda çözünürlük sergilememektedir. Bu nedenle alaşımların içyapısında doğrudan katılaşıma sırasında blok, ötektik dönüşüm sonucunda ise lamel biçiminde sert silisyum parçacıkları oluşmaktadır. Bu sert parçacıklar alaşımların sertliğini artırmakta ancak keskin kenar ve köşelerinden dolayı ana matriste çatlak oluşumuna yol açarak çekme dayanımlarını düşürmektedir. Diğer taraftan söz konusu parçacıklar alaşımların sünekliğini düşürmekte gerek talaşlı imalat gerekse plastik deformasyon yolu ile şekillendirilmelerini zorlaştırmaktadır [4, 5].

Al-Si alaşımlarının içyapısında bulunan silisyumların morfolojisini değiştirmek için farklı yöntemler uygulanmaktadır [6-9]. Bunlar arasında en yaygını sodyum ve stronsiyum (modifikasyon elementleri) katkıları ile sert parçacıkların küresel biçime dönüştürülerek ana matriste homojen bir biçimde dağılımının sağlanmasıdır [8-10]. Bu yöntem ile alaşımların mekanik ve süneklik özelliklerinde her ne kadar bir iyileşme elde edilse de uygulama gereksinimleri için gerekli değerlere nispeten ulaşamamaktadır. Bu durumun alaşımı oluşturan ana matrisin iri taneli dendritik yapısından kaynaklandığı ifade edilmektedir. Bu nedenle ana matrisinde tane yapısının inceltilmesi de gerekmektedir. Aşılama yoluyla ile alaşıma katılan tane incelticiler ile nispeten eş eksenli ince tanelerden oluşan ana matris elde edilebilmektedir. Ancak hem tane incelticilerin oluşturduğu fazların morfolojisi hem de tane incelticiler ile modifiye edici elementlerin döküm esnasında kimyasal bileşimlerinin ayarlamaması bir sorun olarak güncelliğini korumaktadır [8-10].

Al-Si alaşımlarının tane boyutunu inceltmek, silisyum parçacıklarının en boy oranlarını bire

yaklaştırmak ve bu parçacıkların ana matris içerisinde homojen dağılımını sağlamak için eş kanallı açısız ekstrüzyon (EKAP), yüksek basınç altında burma (YBB), çok yönlü dövme (ÇYD) gibi aşırı plastik deformasyon yöntemlerinden yararlanılmaktadır [11-13]. Ancak bu yöntemlerden bazıları yüksek pres gücü ve yüksek mukavemetli kalıp malzemesi gerektirmektedir. Diğer taraftan bu yöntemler kullanılarak karmaşık geometri ve büyük boyutlu parçalar üretilmemektedir [14]. Son yıllarda geliştirilen çok yönlü dövme işlemi ile bu sorunlar nispeten ortadan kaldırılmaktadır. Bu yöntemde tekrarlanan paso sayıları ve sıcaklıkla birlikte metaller kolaylıkla deformasyona tabi tutulmakta ve son derece ince taneli metaller üretilmektedir [15]. Bu çalışmada diğer aşırı plastik deformasyon yöntemleri arasında uygulama kolaylığı ile öne çıkan, daha düşük kapasiteli presler, daha düşük maliyetli kalıp ve takımlar kullanılarak yapılan ve de büyük boyutlu parçalara uygulanabilen ÇYD işleminin Al-7Si alaşımının yapı ve mekanik özelliklerine etkisinin detaylı bir biçimde belirlenmesi hedeflenmiştir.

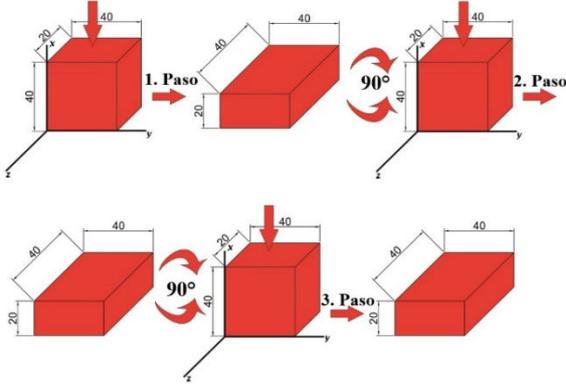
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Alaşımın Üretimi ve Çok Yönlü Dövme İşlemi

Al-7Si alaşımı %99,7 saflıkta alüminyum ve Al-12Si ötektik alaşımı kullanılarak üretilmiştir. Söz konusu metaller içerisinde grafit pota bulunan bir elektrikli ergitme ocağında ergitilmiştir. 690 °C sıcaklığa sahip ergiyik orta karbonlu çelikten Ø57 x Ø72 x 180 mm boyutlarında imal edilmiş bir kalıba dökülerek katılaştırılmıştır. Spektral analiz yöntemi ile alaşımın kimyasal bileşiminde sırasıyla %92,9 ve %7,1 oranlarında Al ve Si bulunduğu tespit edilmiştir.

Alaşımın 40 x 40 x 20 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler 450 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle homojenizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Söz konusu numuneler basınç altında viskozitesini koruyan bir gres ile yağlanmış ve kalıba yerleştirilmiştir. Kalıp bir doğrultuda serbest şekil değişimine izin verecek şekilde tasarlanmış ve numuneler bu kalıp içerisinde 200 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Bu aşamadan sonra numuneler 150 tonluk bir hidrolik preste 1 mm/s'lik basma hızında çok yönlü dövülmüştür. Uygulanan çok yönlü dövme işleminin bir çevriminin şematik

resmi Şekil 1’de verilmiştir. Her bir pasodaki dövme işlemi 0,69’luk gerçek bir şekil değişiminde gerçekleştirilmiştir. Numuneler birden üç çevrime kadar yani 3 pasodan 9 pasoya kadar dövülmüştür.



Şekil 1: Çok yönlü dövme işlemine ait şematik resim

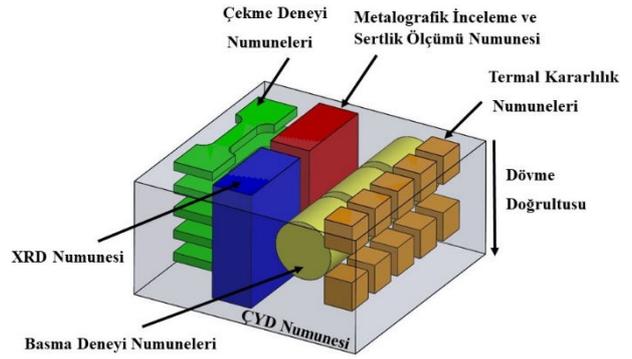
2.2 Alaşımın Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Yapısal incelemelerde ve mekanik deneylerde kullanılan numunelerin dövme parçasından imal edildiği bölgeleri gösteren şematik resim Şekil 2’de verilmiştir. Yapısal incelemelere ait numuneler standart metalografik yöntemleriyle hazırlandıktan sonra %6 sı NaOH geri kalanı saf sudan oluşan bir çözelti ile dağlanmış, optik mikroskopta incelenmiş ve ardından fotoğrafları çekilmiştir. Optik mikroskoptan alınan görüntüler bir görüntü analiz yazılımında incelenmiş, alaşımın içyapısında bulunan silisyumların en/boy oranları belirlenmiş ve bunların yüzde dağılımlarının en/boy oranlarına göre değişimi histogram grafikleri yardımıyla sunulmuştur. Alaşımın içyapısında bulunan fazların türü ise X-ışını difraktometresi (XRD) analizi ile belirlenmiştir. Bu analiz 15-90° Bragg açılarında ve 1 derece/dk tarama hızında gerçekleştirilmiştir.

Alaşımın mekanik özelliklerinin belirlenmesinde Brinell sertlik ve Vickers mikrosertlik ölçümlerinden, çekme ve basma deneylerinden yararlanılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri α -Al fazı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Brinell sertlik ölçümünde 62,5 kg yük ve 2,5 mm çapında bilye uç, Vickers mikrosertlik ölçümünde ise 500 g’lık yük kullanılmıştır. Çekme deneyleri için tel erozyon yöntemiyle ölçü boyutları 12 x 3 x 1,5 mm olan yassı numuneler üretilmiştir. Bu numuneler 5×10^{-4} s⁻¹’lik deformasyon hızında ve oda sıcaklığında çekme

deneyine tabi tutulmuş akma ve çekme dayanımları ile yüzde uzama değerleri belirlenmiştir. Çekme sonucunda oluşan kırık yüzeyler SEM ile incelenmiş ve dövme işleminin alaşımın kırılma davranışına etkisi belirlenmiştir. Basma deneyleri oda sıcaklığında, 5×10^{-4} s⁻¹’lik deformasyon hızında, 10 x 10 mm boyutlarında numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Basma deneyleri sırasında numunelere %50 oranında deformasyon uygulanmış ve bu deformasyona karşılık gelen gerilme alaşım için basma dayanımı olarak ölçülmüştür. Bütün mekanik deneyler en az beş ölçüm üzerinden yapılmış ve bunların ortalaması alınarak söz konusu değerler belirlenmiştir.

Alaşımın kararlı davranış sergilediği sıcaklıkların ve sürelerin belirlenmesi için, çok yönlü dövme işlemine tabi tutulmuş alaşımdan hazırlanan 5 x 5 x 5 mm³ boyutlarındaki numuneler bir fırın içerisinde 1’er saatlik periyotlarla 50 °C’den başlayarak 300 °C’ye kadar tutulmuş, her bir periyodun ardından su verilerek sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

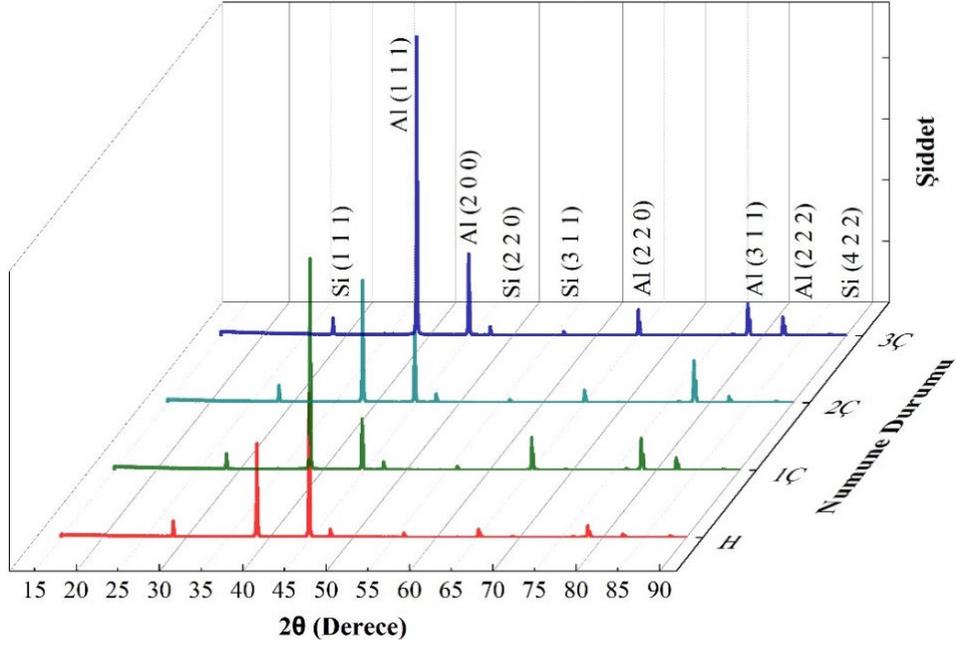


Şekil 2: Deney numunelerinin dövme parçasından imal edildiği yerleri gösteren şematik resim

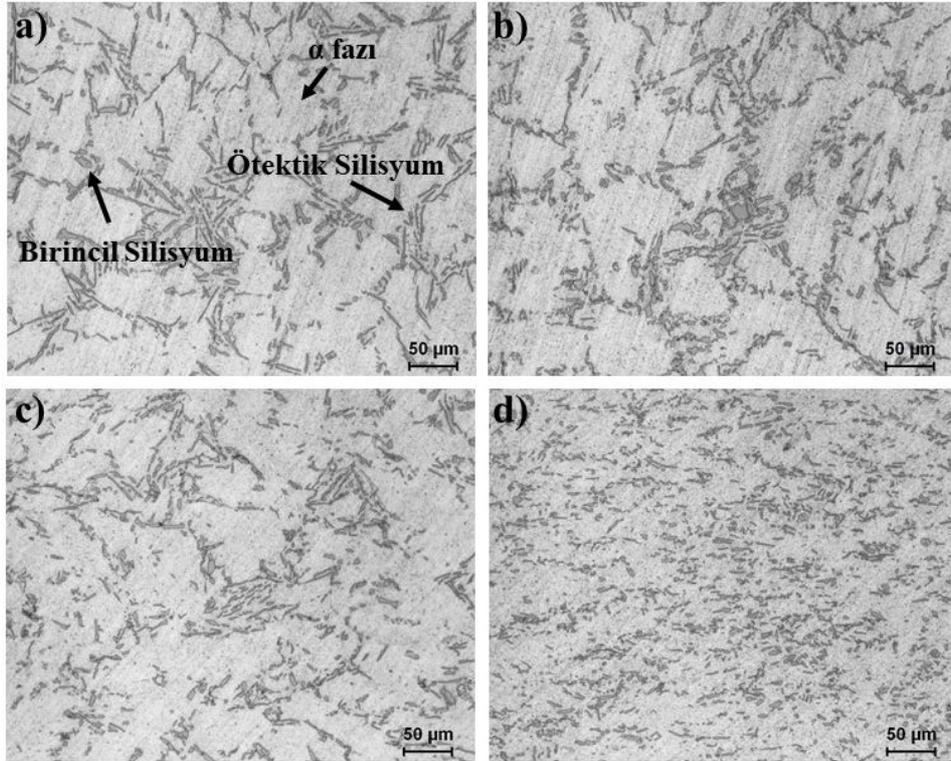
3. BULGULAR

3.1 Yapısal İncelemelerden Elde Edilen Bulgular

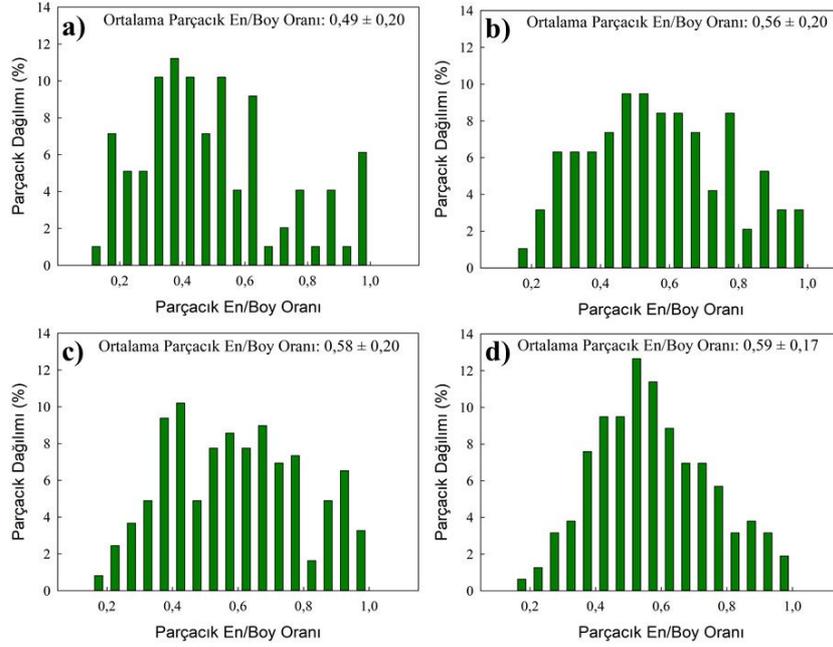
Alaşımın proses görmüş tüm durumlarına ait XRD desenleri ile içyapı görüntüleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Alaşımın homojenize durumdaki içyapısının α -Al taneleri ile silisyum parçacıklarından oluştuğu görülmüştür. α -Al tanelerinin dendritik, silisyumların ince ve uzun (ötektik), kısmende iri ve köşeli (birincil) bir görünüme sahip oldukları gözlenmiştir. Dövme işleminden sonra söz konusu dendritik yapının ortadan kalktığı, silisyumların parçalandığı, artan dövme çevrim sayısı ile yapı içerisine nispeten homojen dağıldığı belirlenmiştir.



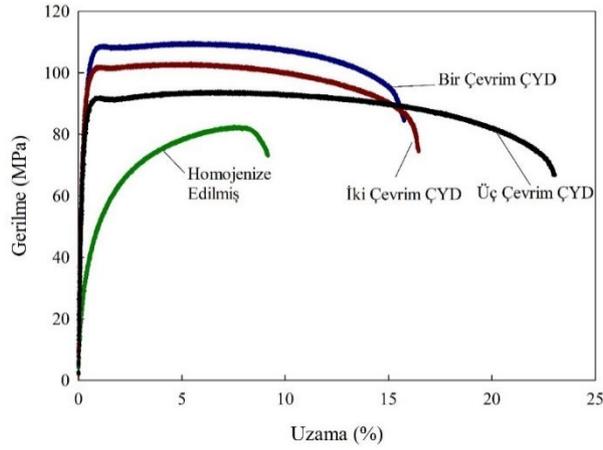
Şekil 3: Alaşımın tüm durumlarına ait XRD desenleri



Şekil 4: Alaşımın a) homojenize edilmiş, b) bir, c) iki ve d) üç çevrim ÇYD işlemi uygulanmış durumlarına ait içyapı görüntüleri



Şekil 5: a) Homojenize edilmiş, b) bir, c) iki ve d) üç çevrim ÇYD işlemi uygulanmış alaşımın iç yapısında bulunan Si parçacıklarının en/boy oranlarının yüzde dağılım grafikleri ve ortalama en/boy oranı değerleri



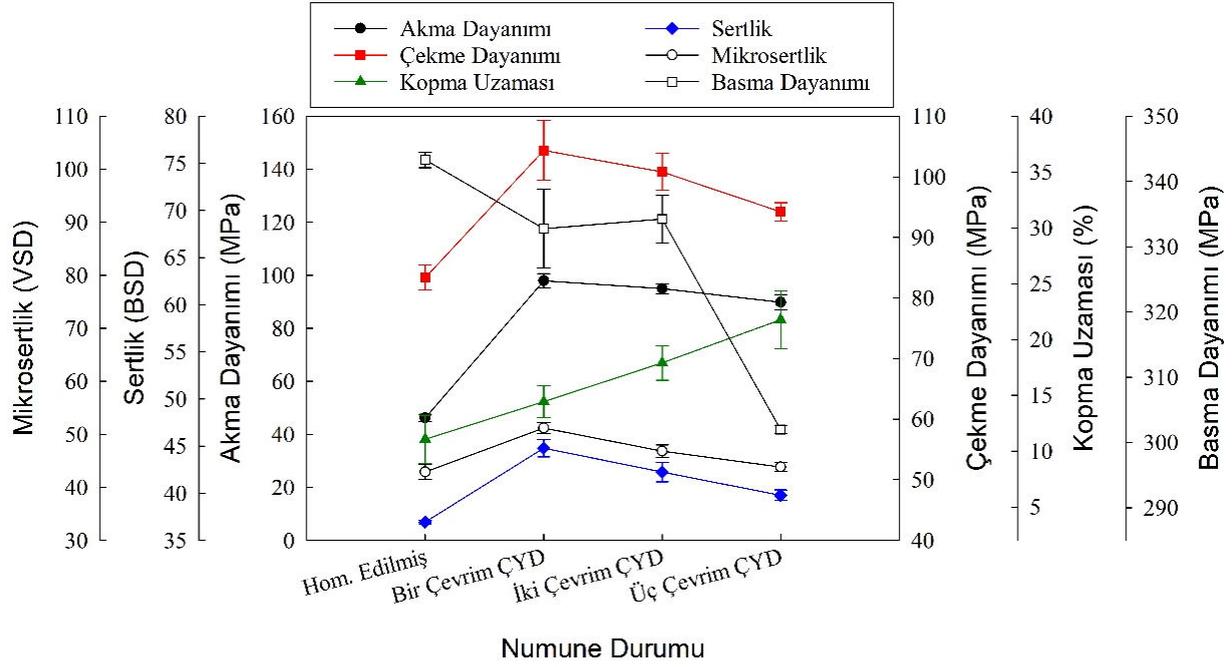
Şekil 6: Alaşıma ait gerilme-yüzde uzama eğrileri

Parçalanmış silisyumların yüzde dağılımlarının en/boy oranına göre değişimleri ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu diyagramlardan yararlanarak dövme çevrim sayısı arttıkça parçalanmış silisyumların oranının arttığı ve en/boy oranlarının ortalama değerlerinin yaklaşık 0,49'dan 0,6'ya yükseldiği belirlenmiştir.

3.2 Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulgular

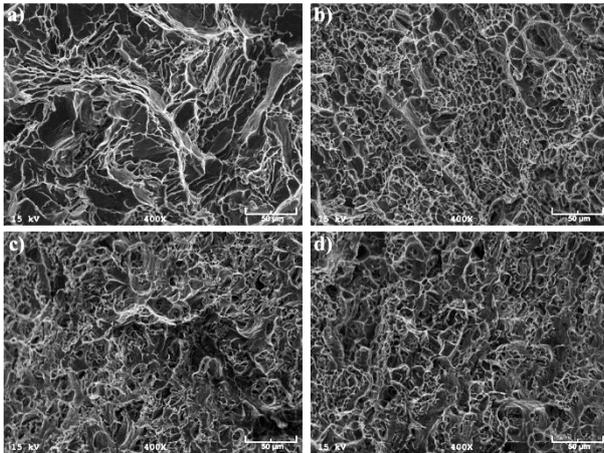
Alaşımın proses görmüş bütün durumlarına ait gerilme-yüzde uzama eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Homojenize durumda deformasyona dayalı sertleşme eğilimi sergileyen alaşımın dövüldükten sonra dayanımının çok düşük uzamalarda en

yüksek değerine ulaştığı yaklaşık bu değerde yüksek bir uzama sergiledikten sonra kırıldığı belirlenmiştir. Bu eğriler ile sertlik ve basma deneylerinden elde edilen verilerin alaşımın işlem durumuna göre değişimleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Alaşımın sertlik, akma ve çekme dayanımının bir çevrim dövme işleminden sonra en yüksek değerine ulaştıktan sonra artan çevrim sayısı ile azaldığı, kopma uzamasının ise sürekli bir artış sergilediği belirlenmiştir. Diğer taraftan alaşımın basma dayanımının ise artan çevrim sayısı ile düştüğü belirlenmiştir.



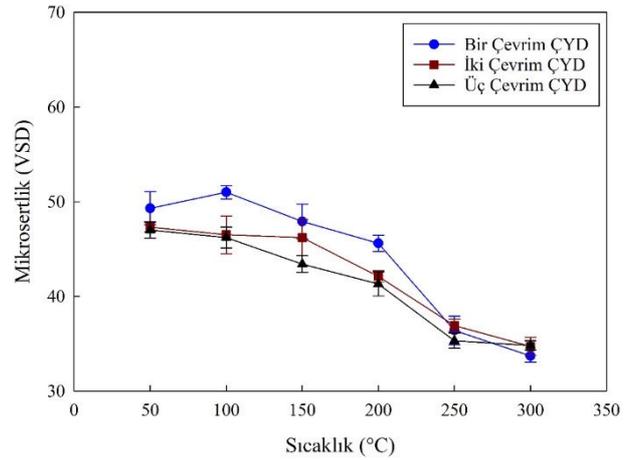
Şekil 7: Alaşımın tüm durumlarına ait mekanik özelliklerinin işlem durumuna göre değişimlerini gösteren eğriler

Çekme deneyi sonucunda kırılan numunelerin kırılma yüzeylerine gösteren SEM fotoğrafları Şekil 8'de verilmiştir. Homojenize durumda alaşımın kırılma yüzeyinde geniş alanlar ile bu alanları birbirinden ayıran tepelerin bulunduğu, dövme işleminden sonra geniş alanların daraldığı, çukurların meydana geldiği ve tepelerin daha yoğun bir biçimde ortaya çıktığı görülmüştür.



Şekil 8: a) Homojenize edilmiş, b) bir, c) iki ve d) üç çevrim ÇYD işlemi uygulanmış alaşımın kırılma yüzeylerini gösteren SEM fotoğrafları

Dövülmüş durumdaki alaşıma ait termal kararlılık eğrileri Şekil 9'da verilmiştir. Alaşımın genel olarak 150 °C sıcaklığa kadar sertliğini koruduğu, bunun üzerindeki sıcaklıklarda ise sertliğinin düştüğü diğer bir ifadeyle termal kararlılığını koruyamadığı belirlenmiştir.



Şekil 9: Çok yönlü sıcak dövülmüş alaşımın mikrosertliğinin sıcaklığa göre değişimini gösteren eğriler

4. TARTIŞMA

Çok yönlü dövme işleminden sonra alaşımın dendritik yapısının ortadan kalktığı, silisyumların parçalanarak yapı içerisine nispeten homojen bir biçimde dağıldığı, parçalanmanın ve homojen dağılımın artan çevrim sayısı ile arttığı gözlenmiştir (Şekil 4). Silisyumların parçalanması bunların sert ve gevrek oluşlarından, dendritik yapının ortadan kalkması sıcak deformasyon sırasında meydana gelen dinamik yeniden kristalleşmeden, parçalanmış silisyumların homojen dağılımı ise üç eksenli dövme işlemi sırasında söz konusu parçacıkların üç ana ekseninde yönlenmesinden kaynaklanmıştır [11, 16-20]. Nitekim silisyum parçacıklarının en/boy oranlarının (Şekil 5) artan çevrim sayısı ile sürekli bir artış sergilemesi; parçalanmanın her çevrimde gerçekleştiğini, parçalama sonucu sayılarının arttığını oluşan çok sayıda silisyum parçacığının birbiri peşine üç ekseninde yapılan dövme işlemi ile yapıya homojen bir biçimde dağıldığını göstermektedir.

Çok yönlü dövme işleminden sonra alaşımın çekme eğrisinin ani bir dikleşme sergileyerek bir maksimuma ulaştığı bu maksimum gerilme etkisi altında yüksek bir uzama sergiledikten sonra kırıldığı belirlenmiştir. (Şekil 6). Bu durum silisyumların parçalanması sonucu çatlak oluşturma eğilimlerinin azalmasından ve dinamik yeniden kristalleşme sonucu nispeten dislokasyon yoğunluğu düşük tane veya alt tanelerin oluşmasından kaynaklanmış olabilir [21, 22].

Çok yönlü dövme işleminden sonra alaşımın akma ve çekme dayanımları ile kopma uzaması değerlerinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 7). Akma ve çekme dayanımındaki artış parçalanmış silisyumların yapı içerisine homojen dağılmasından dolayı dislokasyon hareketlerini engellemesinden, süneklikteki artış ise bu parçacıkların çatlak oluşumunu geciktirmesinden kaynaklanmış olabilir [11, 23]. Silisyumların en/boy oranlarının artması nispeten küreselleştiklerini, küresel parçacıkların ise lamel biçimindeki parçacıklara göre gerilme akışını kolaylaştırdığı ve çatlak oluşumunu geciktirdiği bilinmektedir. Ancak her ne kadar sert parçacıklar dislokasyon hareketini engellese de ortaya çıkan dinamik yeniden kristalleşme alaşımın yumuşamasına dolayısıyla dislokasyon hareketlerinin kolaylaşmasına yol

açmaktadır. Nitekim bir çevrimin üzerinde yapılan dövme işleminden sonra alaşımın akma ve çekme ile sertliğinde meydana gelen düşüş, dövme çevrim sayısına bağlı olarak süneklikte meydana gelen sürekli artış alaşımın belirli bir dövme çevrim sayısından sonra yumuşama eğilimi sergilediğini göstermektedir. Diğer taraftan çok yönlü dövme işleminden sonra alaşımın basma dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Bu durum alaşımın sünekliğinin artmasından dolayı basma durumunda şekil değiştirme kabiliyetinin artmasından kaynaklanmış olabilir [16-20].

Homojenize durumda alaşımın yüzeyinde görülen geniş alanların (klivaj düzlemlerinin) dövme işleminden sonra daraldığı çekme yönünde uzamış sırtların arttığı belirlenmiştir (Şekil 8a). Söz konusu alanların silisyum yüzeylerinden veya silisyumun ana matristen ayrıldığı yüzeylerden meydana geldiği belirlenmiştir. Nitekim bu gözlem alaşımdaki kırılmanın silisyumların kırılması veya ana matristen ayrılması sonucu oluşan çatlakların ilerlemesi ile meydana geldiğini göstermektedir. Diğer taraftan dövme işleminden sonra yumuşayan matrisin çekme ekseninde yüksek uzama sergiledikten sonrası kopması çekme yönünde uzamış sırtların oluşmasına yol açmaktadır (Şekil 8b-d). Ancak bu sırtlar arasında mesafenin daralması sayıları artan silisyum parçacıklarının birbirine yaklaşmasından diğer bir ifadeyle silisyumlar arasındaki mesafenin azalmasından kaynaklanmış olabilir [21].

Çok yönlü dövülmüş alaşımın 150 °C'ye kadar sertliğini koruduğu ancak bunun üzerindeki sıcaklıklarda sertliğinin düştüğü belirlenmiştir (Şekil 9). Bu durum söz konusu alaşımlarda belirli sıcaklıklardan sonra yeni kristallerin oluşmasından ve/veya dövme işlemi sırasında oluşan yeni kristallerin büyümesinden kaynaklanmış olabilir. Nitekim 150 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda oluşan yeni kristallerin oranının artması ve/veya mevcut kristallerin büyümesi alaşımın termal kararlılığını koruyamamasına yol açmaktadır [16-19].

5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Alaşımın homojenize edilmiş durumundaki yapısal α -Al dendritleri ile dendritler arası

bölgelerde yer alan ince uzun (ötektik) ve blok biçimindeki (birincil) silisyum parçacıklarından oluşmaktadır.

2. Çok yönlü dövme işlemi alaşımın dentritik yapısının ortadan kalkmasına ve silisyumların kırılarak en/boy oranı artmasına ve yapıya nispeten homojen bir biçimde dağılmasına yol açmaktadır.

3. Çok yönlü dövme işleminden sonra alaşımın akma ve çekme dayanımı ile sertlik ve kopma uzaması değerleri artmaktadır. Ancak kopma uzamasındaki sürekli artışa rağmen alaşımın akma ve çekme dayanımı ile sertliği bir çevrim üzerinde yapılan dövme işleminden sonra azalmaktadır. Diğer taraftan çok yönlü dövme işleminden sonra alaşımın basma dayanımı düşmektedir.

4. Alaşımın kırılma yüzeyi homojenize edilmiş durumda klivaj düzlemlerinden, ÇYD işlemi uygulanmış durumda ise çekme yönünde uzamış ayrılma sırtlardan oluşmaktadır. Bu bulgu alaşımın homojenize edilmiş durumda gevrek, çok yönlü dövülmüş durumda ise sünek kırılma davranışı sergilediğini göstermektedir.

5. Dövülmüş durumdaki alaşım 150 °C sıcaklığa kadar sertliğini korumaktadır. Bu bulgu termal kararlılık açısından dövülmüş durumdaki alaşımın söz konu değerler üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmasının uygun olmadığını ortaya koymaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir. Yazar değerli katkılarını esirgemeyen tüm teknisyenlere teşekkürlerini sunar.

7. KAYNAKLAR

- [1] G.S. Cole, A.M. Sherman, "Light weight materials for automotive applications", Mater. Charact., vol. 35, no. 1, pp. 3-9, 1995.
- [2] H. Ye, "An overview of the development of Al-Si-Alloy based material for engine applications", J. Mater. Eng. Perform., vol. 12, no. 3, pp. 288-297, 2003.
- [3] J.E. Gruzleski, B.M. Closset, "The treatment of liquid aluminum-silicon alloys", American Foundrymen's Society, pp. 1-35, 1990.

- [4] S.P. Nikanorov, M.P. Volkov, V.N. Gurin, Y.A. Burenkov, L.I. Derkachenko, B.K. Kardashev, L.L. Regel, W.R. Wilcox, "Structural and mechanical properties of Al-Si alloys obtained by fast cooling of a levitated melt", Mater. Sci. Eng. A, vol. 390, no. 1, pp. 63-69, 2005.
- [5] C. Cui, A. Schulz, E. Matthei-Schulz, H.-W. Zoch, "Characterization of silicon phases in spray-formed and extruded hypereutectic Al-Si alloys by image analysis", J. Mater. Sci., vol. 44, no. 18, pp. 4814-4826, 2009.
- [6] M. Tiryakioğlu, "Si particle size and aspect ratio distributions in an Al-7%Si-0.6%Mg alloy during solution treatment", Mater. Sci. Eng. A, vol. 473, no. 1, pp. 1-6, 2008.
- [7] Y. Zedan, F.H. Samuel, A.M. Samuel, H.W. Doty, "Effects of Fe intermetallics on the machinability of heat-treated Al-(7-11)% Si alloys", J. Mater. Process. Technol., vol. 210, no. 2, pp. 245-257, 2010.
- [8] S.A. Kori, B.S. Murty, M. Chakraborty, "Development of an efficient grain refiner for Al-7Si alloy and its modification with strontium", Mater. Sci. Eng. A, vol. 283, no. 1, pp. 94-104, 2000.
- [9] N. Rathod, J. Manghani, "Effect of modifier and grain refiner on cast Al-7Si aluminum alloy: A review", International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development, vol. 5, no. 2, pp. 574-582, 2012.
- [10] N. Fatahalla, M. Hafiz, M. Abdulkhalek, "Effect of microstructure on the mechanical properties and fracture of commercial hypoeutectic Al-Si alloy modified with Na, Sb and Sr", J. Mater. Sci., vol. 34, no. 14, pp. 3555-3564, 1999.
- [11] G. Purcek, O. Saray, O. Kul, "Microstructural evolution and mechanical properties of severely deformed Al-12Si casting alloy by equal-channel angular extrusion", Met. Mater. Int., vol. 16, no.1, pp. 145-154, 2010.
- [12] Y. Zhang, S. Jin, P.W. Trimby, X. Liao, M.Y. Murashkin, R.Z. Valiev, J. Liu, J.M. Cairney, S.P. Ringer, G. Sha, "Dynamic precipitation, segregation and strengthening of an Al-Zn-Mg-Cu alloy (AA7075) processed by high-pressure torsion", Acta Mater., vol. 162, pp. 19-32, 2019.

- [13] Q.F. Zhu, J. Wang, L. Li, C.Y. Ban, Z.H. Zhao, J.Z. Cui, "Effect of Forging Temperature on Deformability and Structure Evolution of High Purity Aluminium during Multi-Directional Forging Process", *Materials Science Forum*, Trans. Tech. Publ., pp. 371-379, 2017.
- [14] B. Cherukuri, T.S. Nedkova, R. Srinivasan, "A comparison of the properties of SPD-processed AA-6061 by equal-channel angular pressing, multi-axial compressions/forgings and accumulative roll bonding", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 410-411, pp. 394-397, 2005.
- [15] I. Sabirov, M.Y. Murashkin, R.Z. Valiev, "Nanostructured aluminium alloys produced by severe plastic deformation: New horizons in development", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 560, pp. 1-24, 2013.
- [16] B. Bay, N. Hansen, "Initial stages of recrystallization in aluminum of commercial purity", *Metallurgical Transactions A*, vol. 10, no. 3, pp. 279-288, 1979.
- [17] M.R. Drury, J.L. Urai, "Deformation-related recrystallization processes", *Tectonophysics*, vol. 172, no. 3, pp. 235-253, 1990.
- [18] S. Gourdet, F. Montheillet, "An experimental study of the recrystallization mechanism during hot deformation of aluminium", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 283, no. 1, pp. 274-288, 2000.
- [19] K. Huang, R.E. Logé, "A review of dynamic recrystallization phenomena in metallic materials", *Materials & Design*, vol. 111, pp. 548-574, 2016.
- [20] T. Sakai, A. Belyakov, R. Kaibyshev, H. Miura, J.J. Jonas, "Dynamic and post-dynamic recrystallization under hot, cold and severe plastic deformation conditions", *Progress in Materials Science*, vol. 60, pp. 130-207, 2014.
- [21] A. Ma, N. Saito, M. Takagi, Y. Nishida, H. Iwata, K. Suzuki, I. Shigematsu, A. Watazu, "Effect of severe plastic deformation on tensile properties of a cast Al-11mass% Si alloy", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 395, no.1-2, pp. 70-76, 2005.
- [22] I. Gutierrez-Urrutia, M.A. Muñoz-Morris, D.G. Morris, "Contribution of microstructural parameters to strengthening in an ultrafine-grained Al-7% Si alloy processed by severe deformation", *Acta Mater.*, vol. 55, no. 4, pp. 1319-1330, 2007.
- [23] Y.C. Lee, A.K. Dahle, D.H. StJohn, J.E.C. Hutt, "The effect of grain refinement and silicon content on grain formation in hypoeutectic Al-Si alloys", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 259, no. 1, pp. 43-52, 1999.

RESEARCH ARTICLE

The Effects of Different Origins NaOH on the Mechanical and Microstructural Properties of Tuff-Based Alkali-Activated Pastes

Tüf Esaslı Alkali-Aktive Edilmiş Hamurların Mekanik ve Mikro Yapısal Özelliklerine Farklı Orijinli NaOH'ın Etkileri

Mahfuz Pekgöz, İlker Tekin *

Karabük University, Department of Civil Engineering, Karabük, Turkey

Geliş / Received: 29.04.2022

Kabul / Accepted: 30.05.2022

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) İlker Tekin, ilkertekin@karabuk.edu.tr

ABSTRACT: Turkey has rich deposits in natural stones such as marble and volcanic tuff. These are commonly used as cladding tiles in the construction sector. So, almost 70% wastes are aroused during the production processes of both quarries and factories. These wastes give rise to solid state environmental pollutions in large and micro scales. Alkali-activation method (AAM) is the most effective way to use these wastes in productions like brick manufacturing, and also NaOH is the most common alkali-activator in the production of AAMs. However, the NaOH manufacturing sector is very huge in the world; and there are lots of brands which use different technics. In here, alkali-activated pastes (AAP) contained tuff and travertine were produced with using NaOH as an alkali activator from two different countries in the solutions with 5 Molar and 10 Molar concentrations. All AAPs were cured in laboratory condition at 22 ± 2 °C and 35% R.H. The compressive strength tests were carried out on the 7th, 28th and 90th days of curing period. Moreover, microstructural investigations were performed on AAPs at the age of 90 day. As a result of this study, NaOH from different countries effects the mechanical and microstructural properties. The highest compressive strength is obtained as 46 MPa. It is observed that the AAPs prepared with 5 molar concentration aren't stable sufficiently after 28th days mostly.

Keywords: Travertine, volcanic tuff, alkali-activated paste, compressive strength, microstructure

ÖZ: Türkiye, mermer ve volkanik tüf gibi doğal taşlar açısından zengin yataklara sahiptir. İnşaat sektöründe genellikle kaplama karosu olarak kullanılırlar. Böylece hem taş ocaklarında hem de fabrikalarda üretim süreçlerinde yaklaşık %70'e yakın atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar, büyük ve mikro ölçekte katı hal çevre kirliliğine yol açmaktadır. Alkali ile aktive olan malzemeler (AAM'ler), bu atıkları tuğla üretimi gibi bazı üretimlerde kullanmanın en etkili yoludur ve ayrıca AAM'lerin üretiminde NaOH en yaygın alkali aktivatördür. Ancak, NaOH imalat sektörü dünyada çok büyüktür ve farklı teknikler kullanan birçok marka bulunmaktadır. Burada iki farklı ülkeden temin edilmiş granül halde NaOH alkali aktivatör olarak 5 Molar ve 10 Molar konsantrasyonlarda çözelti ile tüf ve traverten içeren alkali ile aktive edilmiş hamurlar (AAP) üretilmiştir. Tüm AAP'ler laboratuvar koşullarında 22 ± 2 °C ve %35 R.H'de kürlenmiştir. Kür periyodunun 7., 28. ve 90. günlerinde basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Aynı zamanda 90 gün yaşındaki AAP'lerde mikro yapı incelemeleri de gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda farklı ülkelerden NaOH hem mekanik hem de mikroyapısal özelliklere etki etmektedir. En yüksek basınç dayanımı 46 MPa olarak elde edilmiştir. 5 molar konsantrasyonla hazırlanan AAP'lerin çoğunlukla 28. günden sonra yeterince stabil olmadığı gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Traverten, volkanik tüf, alkali aktifleştirilmiş hamur, basınç dayanımı, mikro yapı.

1. INTRODUCTION

Cement, brick, clay tile, ceramic tile like materials used in the construction industry require much energy in the production. The process of these production is essentially led to a considerable amount of CO₂ releasing into atmosphere. For example, the latest data revealed that CO₂ emissions attained 180.000 tons a year for ceramic cladding tile production [1]. Since 2000, cement production has increased almost 78%, so this has triggered of the anthropogenic CO₂ emissions to 5-8% [2]. However, energy requirement of brick, clay tile, and ceramic tile productions are nearly 2.25, 4.88 and 9.02 times higher than that of cement production, respectively [3]. Recently, alkali-activation method can be one of the most efficient alternatives to the energy required materials soon, since its production emit lower CO₂ and more green materials will be able to product by this method.

Alkali-activated materials (AAM) or geopolymers are produced by the polymerization reactions between various sources of solid aluminosilicate and alkaline media. Aluminosilicate sources such as fly ash, slag, metakaolin, volcanic tuff, trass, red mud can be found from industrial wastes frequently. Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) [4], Metakaolin (MK) [5], Volcanic tuff [6,7] and Fly Ash (FA) [8] are the major precursors utilized in studies about AAMs [9]. In order to produce AAMs alkaline activators, which contain Na₂O, K₂O, MgO, CaO, earth metals water glasses, have to be used to trigger the polymeric reaction mechanisms. Because pozzolanic materials have low reaction capacity, and they need alkaline substance with moisture in condition. Sodium hydroxide (NaOH), potassium hydroxide (KOH), sodium silicate (Na₂SiO₃), sodium carbonate (Na₂CO₃), sodium sulfate (Na₂SO₄), and calcium hydroxide (Ca(OH)₂) are the most common alkaline-activators [10]. All of these, except NaOH, emit CO₂ to the atmosphere during manufacturing. NaOH can be manufactured by using two methods: 1) By using the method of electrolysis of brine (NaCl), 2) By burning method of NaCO₃. First method, electrolysis of brine, is preferred mostly in NaOH production, and this process releases only Cl₂ and H₂. The second one causes more CO₂ emissions during production, but some companies still use this method [11]. Therefore, activation process can be varied by changing production

method because of varies total inner energy of NaOH. Even if Na₂CO₃ can be used as an alkaline activator, the activation capacity of Na₂CO₃ is lower than NaOH. Moreover, each process has some effects to the activator quality; however, there isn't any information about it in the existing literature. The main reaction products in AAMs are sodium-aluminosilicate-hydrate (N-A-S-H) and calcium-aluminosilicate-hydrates (C-A-S-H) besides hydrotalcite and other crystalline phases [12].

Turkey has rich natural stone deposits with various volcanic tuffs and travertine resources. Existing reserves are 3,872,000,000 m³ in marble [13] and 155,000 km² in natural pozzolana, although there is some missing in this information because of the limitation of determining the sub structure of volcanic rocks [14]. Due to the technical constraints and the geological environment, yield efficiency rarely exceeded 10% in quarry mining and travertine facing production. In countries which famous in travertine production such as China, Turkey, Italy, Greece and Spain, large amounts of macro and micro wastes are observed as debris during the quarrying and stone cutting processes [15]. It is reported that 90% of the micro-sized travertine wastes formed by sawing during the production of marble coating tile pass through the 200 μm sieve [16]. Moreover, landfill areas are not enough to collect these wastes since this destruct the agricultural areas.

In this study, the main aim is to determine the effect of sodium hydroxides (NaOH) with different origins on mechanical and microstructural properties of AAPs contained volcanic tuff and travertine wastes. With this objective, AAPs were manufactured using wastes of travertine and tuff production collected from Bayburt region of Turkey. To support the objective of this study, saw cut wastes with sized below 200 microns is used. In preparing of AAPs, NaOH was used as an alkali-activator because it is the best alkaline-activator due to the atomic instability of Na⁺ ions. In the literature, NaOH is mostly used on production of geopolymer, but there is no information about using different origin of NaOH. With this scope, the following tests are conducted on alkaline-activated pastes (AAP) such as compressive strength, microscopic and mineralogical analyses.

1. MATERIAL AND METHODS

1.1 Materials

In the experimental study, volcanic tuff (VT) and travertine waste (TW) in powder forms were used in the preparing AAPs. Zeolitic volcanic tuff and travertine wastes were collected from Bayburt province in the northeast of Turkey. Initially, these substances were crushed and grinded by using laboratory type crusher and horizontally ball mill to reduce the particle size below 100 μm . Chemical compositions of VT and TW are given in Table 1. According to Table 1, alumina, silicate, and ferritin amount of VT is totally higher than 80% and its CaO content is lower than 10%. Thus, VT shows pozzolanic behavior [17]. Moreover, alkaline substance amount is almost 8%. However, LOI value is approximately 10%, and this value is slightly high for volcanic tuff. CO_3 or SO_2 like substances can be caused this LOI value. France (Type I) and China (Type II) based sodium hydroxides (NaOH), which have two different densities, with 99.9% purity was used in AAP as alkaline activator. The information about the production styles of NaOH did not get from the companies because of its hide process systems.

Table 1: Chemical and physical properties of VT and TW.

Oxides (%)	VT	TW
SiO_2	68.92	0.70
Al_2O_3	11.96	-
Fe_2O_3	0.34	0.20
CaO	3.85	55.10
MgO	1.29	0.20
SO_3	0.21	-
Na_2O	0.23	-
K_2O	2.38	-
LOI*	10.13	43.50
Total	99.31	99.70

Particle size distribution and mineralogic structure analysis of VT are shown Figure 1 and Figure 2, respectively. According to the Figure 1, 90% of VT pass from 100-micron size, and 50% of VT pass from 30-micron size. Approximately 25% of VT is lower than 10-micron. Specific gravities of ZT and TW are 2.42 g/cm^3 and 2.70 g/cm^3 , and specific surface area of ZT and TW are 10845 g/cm^3 and 2720 g/cm^3 . Even

if the particle size distributions of both substances are similar, specific surfaces of both are considerably different because of the microstructures of substances. For example, VT has zeolitic structure, so it has meso-porous structure.

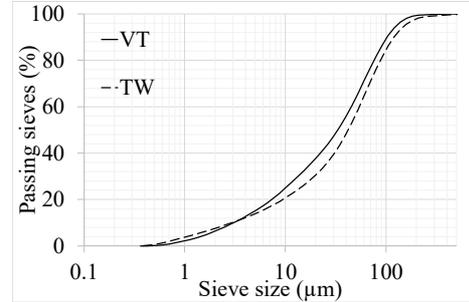


Figure 1: Particle size distributions of wastes

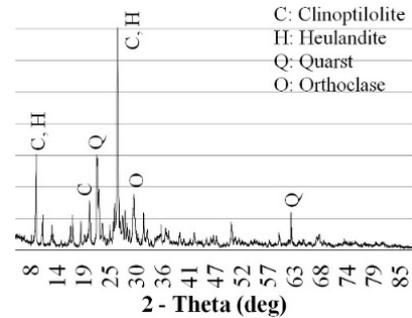


Figure 2: XRD analysis of BSW from METU Merlab

1.2 Experimental Methods

In this study, VT and TW were used as binder and filler materials to product AAPs. Within this scope, mix design parameters of all AAP are given in Table 2. According to this table, the initial letter of the codes indicates the powder state volume proportions by solid materials shown as 0.4:0.6, 0.6:0.4, and 0.8:0.2 (VT/TW) for A, B, and C respectively. The reason of determining these ratios is to provide stoichiometry to supply chemical reactions sufficiently to obtain both geopolymeric structure and high compressive strength. Since VT doesn't contain calcium ions satisfactorily, authors were used TW as high as possible to react the VT in alkaline media. In addition, the previous study by Tekin (2016) [6] was a pioneer in determining the material ratios. The second designation of the codes indicates the concentration of NaOH in the molarity of the solutions given as follows: 5: 5 M, and 10: 10 M. The three designation of the codes indicates the type of NaOH given as follows: I: Type I NaOH, and II: Type II NaOH. During experimental studies, standard consistency is fixed in 20 \pm 2 cm for all

series according to flow table diameter to make the evaluations easier. So, solution/powder (S/P) ratios are changed significantly because of the different surfactant effect of NaOH origins.

Tablo 2: Mix proportions of AAPs prepared with VT and TW.

AAPs	NaOH Types	Solution molarity	S/P	VT	TW
A5I	I	5	0.28	0.27	0.46
B5I	I	5	0.30	0.40	0.30
C5I	I	5	0.32	0.53	0.15
A10I	I	10	0.34	0.24	0.41
B10I	I	10	0.36	0.37	0.28
C10I	I	10	0.37	0.49	0.14
A5II	II	5	0.25	0.28	0.47
B5II	II	5	0.26	0.42	0.32
CII	II	5	0.29	0.55	0.16
A10II	II	10	0.28	0.27	0.46
B10II	II	10	0.29	0.40	0.30
C10II	II	10	0.32	0.53	0.15

Solutions with different concentrations were prepared before preparation of AAPs. Meanwhile, pH value of the solution increased up to 14 and its temperature boosted to approximately 85 °C till all particles of NaOH dissolved. In the preparation of AAPs, the solution and VT were mixed together for 60 s, afterward TW was added into the mix, and all substances were mixed in two steps sequentially (1st step: 30 s at slow speed (1400 rpm) 2nd step: 90 s at speed (2800 rpm)). NaOH solutions were used in 22±2 °C in ambient temperature with 5M and 10M concentration. 12 groups of AAPs were produced using this mix procedure. AAP was cast in 50x50x50 mm sized steel molds to determine the compressive strength according to ASTM C109 [18]. Compressive strength and water absorption tests were carried out on the hardened paste at the age of 2nd, 28th and 90th days, in addition scanning electron microscopy (SEM) analyzes were performed out on the hardened pastes on 90th day.

2. Results and Discussion

2.1 Fresh state properties of AAPs

One of the flow table examination of 10M AAP with Type II NaOH is shown in **Figure 3**. In here, AAP with Type II NaOH causes the similar flowability to

the AAP with Type I NaOH although S/P ratio was chosen in lesser ratio. Therefore, compressive strength increased dramatically. Fresh state AAP with 10M concentration is shown in Figure 3 as dense cohesive and plastic consistency. It is determined that this is the limit consistency value of AAPs to settled with lesser energy. Figure 4 shows the correlation between S/P and VT ratios. According to the S/P ratios of AAPs, as VT ratio increases, S/P ratio increases due to the higher specific surface of VT. It is clearly seen that the Type II NaOH is more effective for workability with lesser S/P ratios.



Figure 3: Flow table test result of AAP with Type II NaOH at lesser S/P ratio

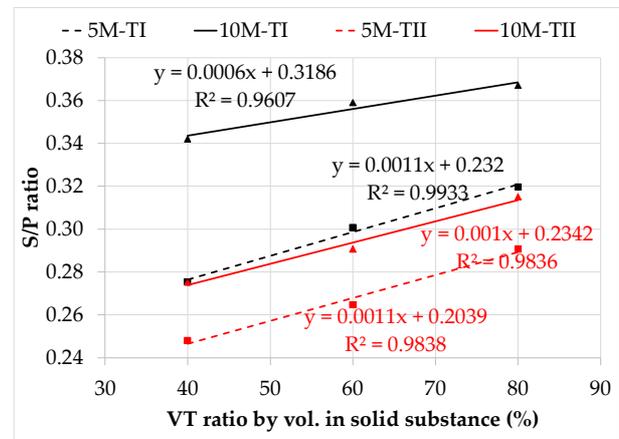


Figure 4: Correlation between S/P and VT ratios

2.2 Compressive strength test results of AAPs

Compressive strength test results of hardened AAPs are given in Figure 5. According to the experimental results, the highest late compressive strength is observed as 46 MPa on the C10II with 10M 80% VT contents and prepared by using Type II NaOH. Minimum compressive strengths are observed on the 5M AAPs for all durations. Compressive strength developments of 10M AAPs based on duration are different by changing

substance ratios. For example, on the 10M AAPs with Type II NaOH, CaO from travertine causes increase in compressive strength more than others after 7th day. However, as CaO ratio decreases, early and late compressive strengths increases by time. In these AAPs, the reason of higher compressive strengths can be attributed to the S/P ratio firstly, but this is also resulted from the origin of NaOH. NaOH origin effects to compressive strengths by increasing concentrations. In here, 10M concentration is more effective for compressive strengths than 5M NaOH.

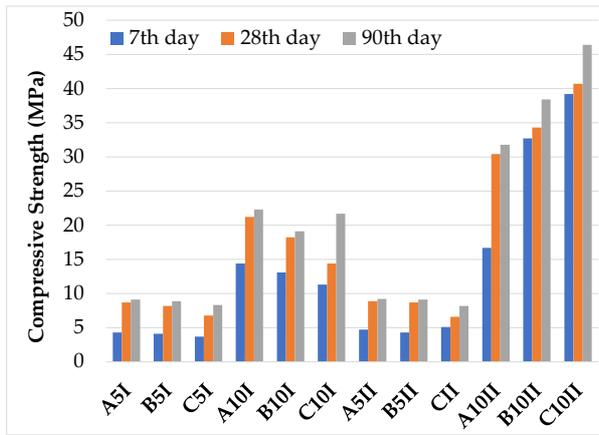


Figure 5: Compressive strength test results of AAPs

Compressive strengths of 10M Type I NaOH used AAPs are roughly 3 times higher than 5M Type I NaOH used AAPs, and similarly Type II NaOH used AAPs with 10M concentration are also 3-7 times higher than 5M Type I NaOH used AAPs. Hence, these results show that the Type II NaOH is more active than Type I NaOH. Pastes with 5M concentrated AAPs are carbonated higher than 10M concentrated AAPs as shown in Figure 6. In here, all surfaces of 5M AAPs are carbonated by leaching of NaOH [6]. Therefore, compressive strength values are obtained as lower levels.

On the other hand, early relative compressive strength developments based on 28th day of AAPs with 5M concentration are calculated between 49%-77%, while early relative compressive strength developments of AAPs with 10M concentration are calculated between 54%-96%. Similarly, late relative compressive strength developments based on 28th day of AAPs with 5M concentration are calculated between 104%-124%, while late relative

compressive strength developments of AAPs with 10M concentration are calculated between 104%-150%. Relative compressive strength development of Type II NaOH based AAPs is the highest among all AAPs.

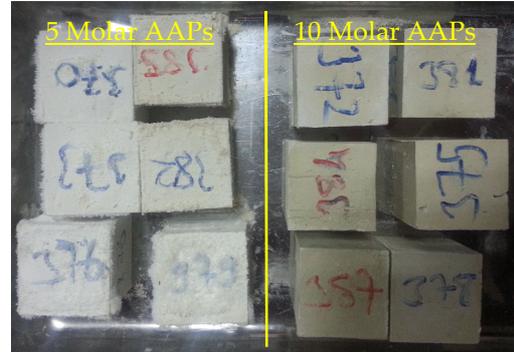


Figure 6: AAP specimens with different concentrations

2.3 Microstructural analyses of AAPs

Microstructural analyses are conducted by imaging scanning electron microscopy (SEM) in the mineralogy and Petrography Laboratory of "General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA in Turkish)". Initially, SEM images are observed, and some regions and points were analyzed by using Energy Dispersive Spectrum (EDS). EDS gives the elemental analyses of any point, and so some of definitive important structures can be determined or foreseen easily. Microscopically investigations are performed from Figure 7 – 10. Figure 7 and 8 shows the 10M Type II NaOH based AAPs, Figure 9 and 10 shows the 10M Type I based AAPs. In these AAPs VT ratio is used 60%. All figures are depicted by 2 SEM images with at least 1 EDS analysis. SEM images are given as macro and micro scale in some regions.

Figure 7 shows a void and its detail of B10II AAP specimen. The void is full of hexagonal structures. These are defined as N-(C)-A-S-H with some percentage like Si/Al: 2.05. But Na⁺ ions are too much in this structure, so it can be led to the shape. Because on the surface between lattices has different apparent like amorphous phase. On the surface Si/Al ratio is more different according to lattice form, it is almost 4 (two times bigger than lattice form). And this observation is usual for the B10II AAP. The general structure of this specimen especially in porous system is full of lattice forms like this.

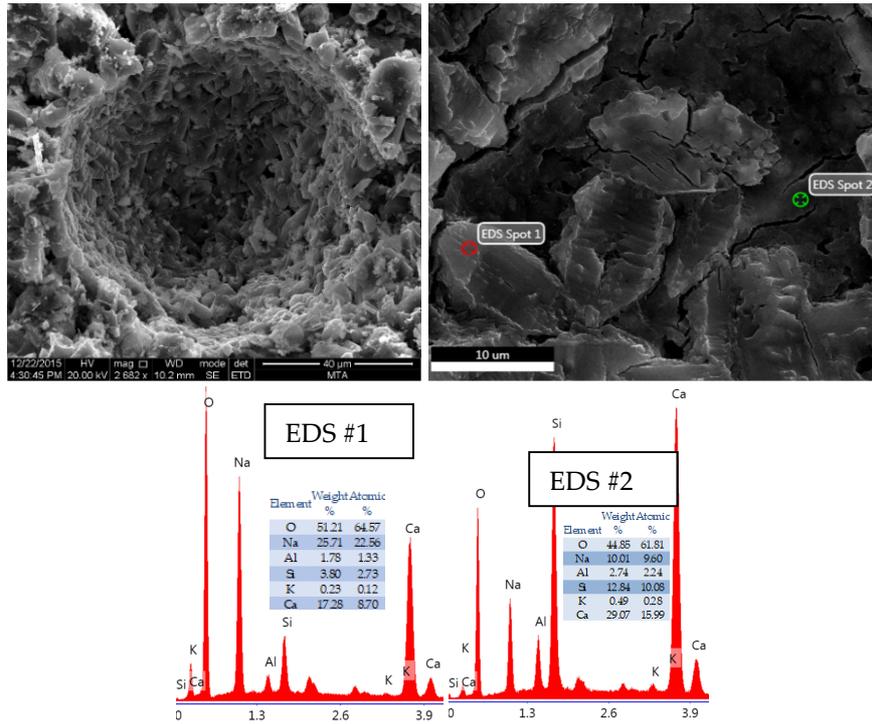


Figure 7: SEM images and EDS analyses of B10II from a voids

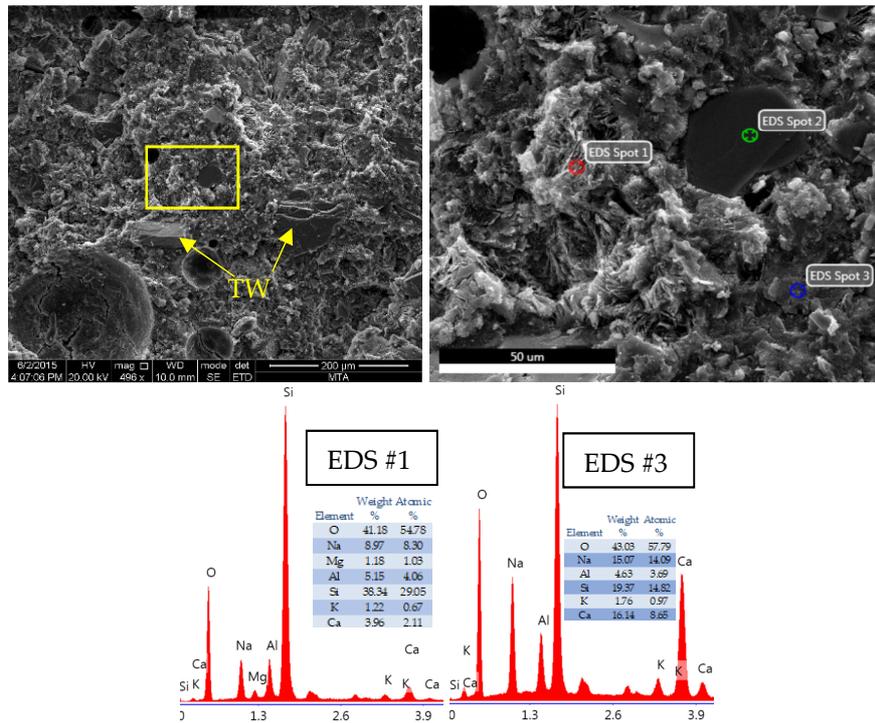


Figure 8: SEM images and EDS analyses of B10II from surface.

Moreover, there are lots of cracks on the lattice and surface structures because of drying shrinkage. This causes discontinuity of forms and so it causes decreasing compressive strengths.

On the surface of B10II AAP shown in Figure 8, there are lots of different forms like leaf (EDS#1) and lattice (EDS#3) structured. On the right SEM image of Figure 8 is a magnified one from the rectangular

area. EDS#2 is a TW below 50 micron, EDS#1 is a leaf like form and EDS#3 depicts an amorphous structure. In here, there are some lattice forms like in porous areas. On the point of EDS#1, Si/Al ratio is above 7 and in here Ca^{2+} and Na^{+} ions are quietly low. So, this can be non-reacted clay structures in VT. However, on the EDS#3 point, Si/Al ratio is approximately 4 and alkaline substance like Na^{+} and Ca^{2+} are higher than EDS#1 point. This can be

attributed if there is high ratio alkaline in aluminosilicate structures, it can generate geopolymeric forms like N-A-S-H or N-(C)-A-S-H. in these forms Ca^{2+} ions from TW joined to the activation reactions although travertine is an inert material. This can be attributed that the particle sizes is more important to determine the reactivity or inert behaviors of CaO based materials like travertine.

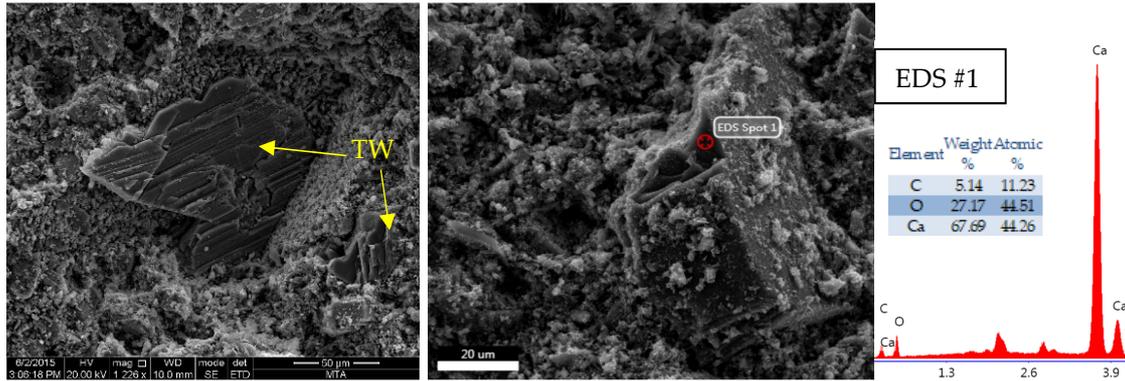


Figure 9: SEM images and EDS analyses of B10I from surface.

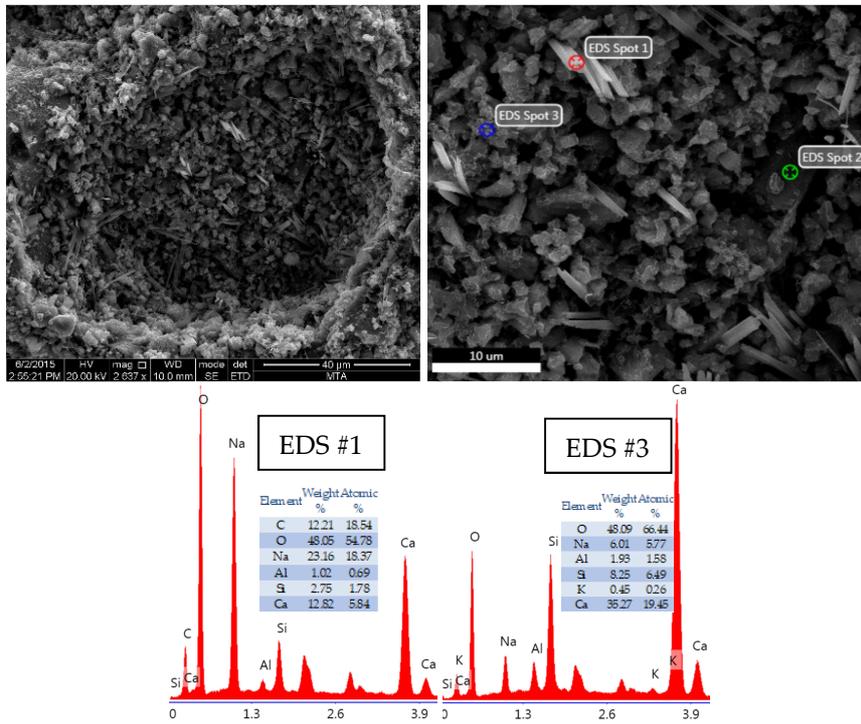


Figure 10: SEM images and EDS analyses of B10I from a void.

On the Figure 9 and Figure 10, surface and a void of Type I NaOH based AAP can be seen, respectively. Particulated forms are clearly observed on both figures. These particles are made of from N-(C)-A-S-H structures, and they appeared tidy forms like zeolitic structures. However, in these forms Si/Al ratios are roughly 3.5 with lesser Na⁺ (~6%) and higher Ca²⁺ ions (19.45% by atomic weight). In here, potassium is also observed on EDS analysis. Particles are cut off by the rod like lattice forms defined by EDS#1 as can be obviously seen on the right side of Figure 10. These rod like lattice forms have very different elemental structure in terms of both Si/Al and alkaline ratios. Si/Al ratio of these structures are 2.6 and Ca²⁺ ions are approximately 3 times lesser than Na⁺. these separated particulate structures cause decreasing the compressive strength as well.

3. CONCLUSIONS

The conclusions of this study are given below:

1. The highest late compressive strength of the AAPs is obtained 46 MPa on C10II.
2. Compressive strengths of AAPs with 10M NaOH are higher 4 times than the AAPs with 5M NaOH.
3. Origin of NaOH is important for both compressive strength and microstructural forms.
4. While bigger particles of travertine play a role as an aggregate in AAP body, smaller particles of travertine play a role as a reactant material.
5. Although, compressive strength of VT as a rock is approximately 35 MPa [19], after grinded VT is blended with travertine dust by using alkali-activated method, the new material properties such as compressive strength and microstructure have improved.

4. ACKNOWLEDGEMENT

This study is funded by TÜBİTAK project no: 213M450.

5. REFERENCES

- [1] J. Peng, Y. Zhao, L. Jiao, W. Zheng, L. Zeng, "CO₂ Emission Calculation and Reduction Options in Ceramic Tile Manufacture-The Foshan Case," *Energy Procedia.*, vol. 16, pp. 467–476, 2012. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2012.01.076>.
- [2] A.R. Sakulich, "Reinforced geopolymer composites for enhanced material greenness and durability," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 1, pp. 195–210, 2011. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2011.07.009>.
- [3] G. Hammond, C. Jones (2008). Inventory of carbon & energy (ICE) Version 1.6a. [Online]. Available: www.bath.ac.uk/mech-eng/serf/embodied.
- [4] M.J. Nadoushan, P. Dashti, S. Ranjbar, A.A. Ramezani-pour, A.M. Ramezani-pour, R. Banar, "RSM-based Optimized Mix Design of Alkali-activated Slag Pastes Based on the Fresh and Hardened Properties and Unit Cost," *J. Adv. Concr. Technol.*, vol. 20, pp. 300–312, 2022. <https://doi.org/10.3151/JACT.20.300>.
- [5] M.S. Saif, M.O.R. El-Hariri, A.I. Sarie-Eldin, B.A. Tayeh, M.F. Farag, "Impact of Ca⁺ content and curing condition on durability performance of metakaolin-based geopolymer mortars," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 16, pp. 922, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2022.E00922>.
- [6] I. Tekin, "Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 127, pp. 607–617, 2016. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.10.038>.
- [7] I. Tekin, O. Gencil, A. Gholampour, O.H. Oren, F. Koksall, T. Ozbakkaloglu, "Recycling zeolitic tuff and marble waste in the production of eco-friendly geopolymer concretes," *J. Clean. Prod.*, vol. 268, pp. 122298, 2020. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122298>.
- [8] L. Li, Y. Wei, Z. Li, M.U. Farooqi, "Rheological and viscoelastic characterizations of fly ash/slag/silica fume-based geopolymer," *J. Clean. Prod.*, vol. 354, pp. 131629, 2022.

- <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.1316>
29.
- [9] Z. Sun, A. Vollpracht, "Isothermal calorimetry and in-situ XRD study of the NaOH activated fly ash, metakaolin and slag," *Cem. Concr. Res.*, vol. 103, pp. 110–122, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2017.10.004>.
- [10] H. Ye, L. Huang, Z. Chen, "Influence of activator composition on the chloride binding capacity of alkali-activated slag," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 104, pp. 103368, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2019.103368>.
- [11] J. Speight, "Chemical Process and Design Handbook," McGraw-Hill Education, 2002.
- [12] H. Ye, "Nanoscale attraction between calcium-aluminosilicate-hydrate and Mg-Al layered double hydroxides in alkali-activated slag," *Mater. Charact.*, vol. 140, pp. 95–102, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.MATCHAR.2018.03.049>.
- [13] M. Yavuz Çelik, E. Sabah, "Geological and technical characterisation of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution," *J. Environ. Manage.*, vol. 87, pp. 106–116, 2008. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2007.01.004>.
- [14] A.G. Türkmenoğlu, A. Tankut, "Use of tuffs from central Turkey as admixture in pozzolanic cements: Assessment of their petrographical properties," *Cem. Concr. Res.*, vol. 32, pp. 629–637, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00734-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00734-7).
- [15] N.E. Altun, "Assessment of marble waste utilization as an alternative sorbent to limestone for SO₂ control," *Fuel Process. Technol.*, vol. 128, pp. 461–470, 2014. <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2014.08.009>.
- [16] H.Y. Aruntaş, M. Gürü, M. Dayi, I. Tekin, "Utilization of waste marble dust as an additive in cement production," *Mater. Des.*, vol. 31, pp. 4039–4042, 2010. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2010.03.036>.
- [17] A. Hatice, "Investigation of fluidizing chemical additive compatibility of composite cements produced with yellow and green tuffs of Bayburt province," MS. Civil Eng., Bayburt Univ., 2020.
- [18] ASTM C109, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, American Society for Testing and Materials, 2013.
- [19] I. Tekin, T. Kotan, A.T. Osmanson, W. Brostow, O. Gencil, G. M. Barrera, "Properties of Lightweight Concrete Blocks with Waste Zeolitic Tuff", *Materials Science (Medžiagotyra)*, vol. 26, no. 4, 2020. <https://doi.org/10.5755/j01.ms.26.4.22777>



Türk Eğitim-Sen, Türkiye Kamu-Sen Üyesidir.



Türk Eğitim-Sen
30 Yaşında