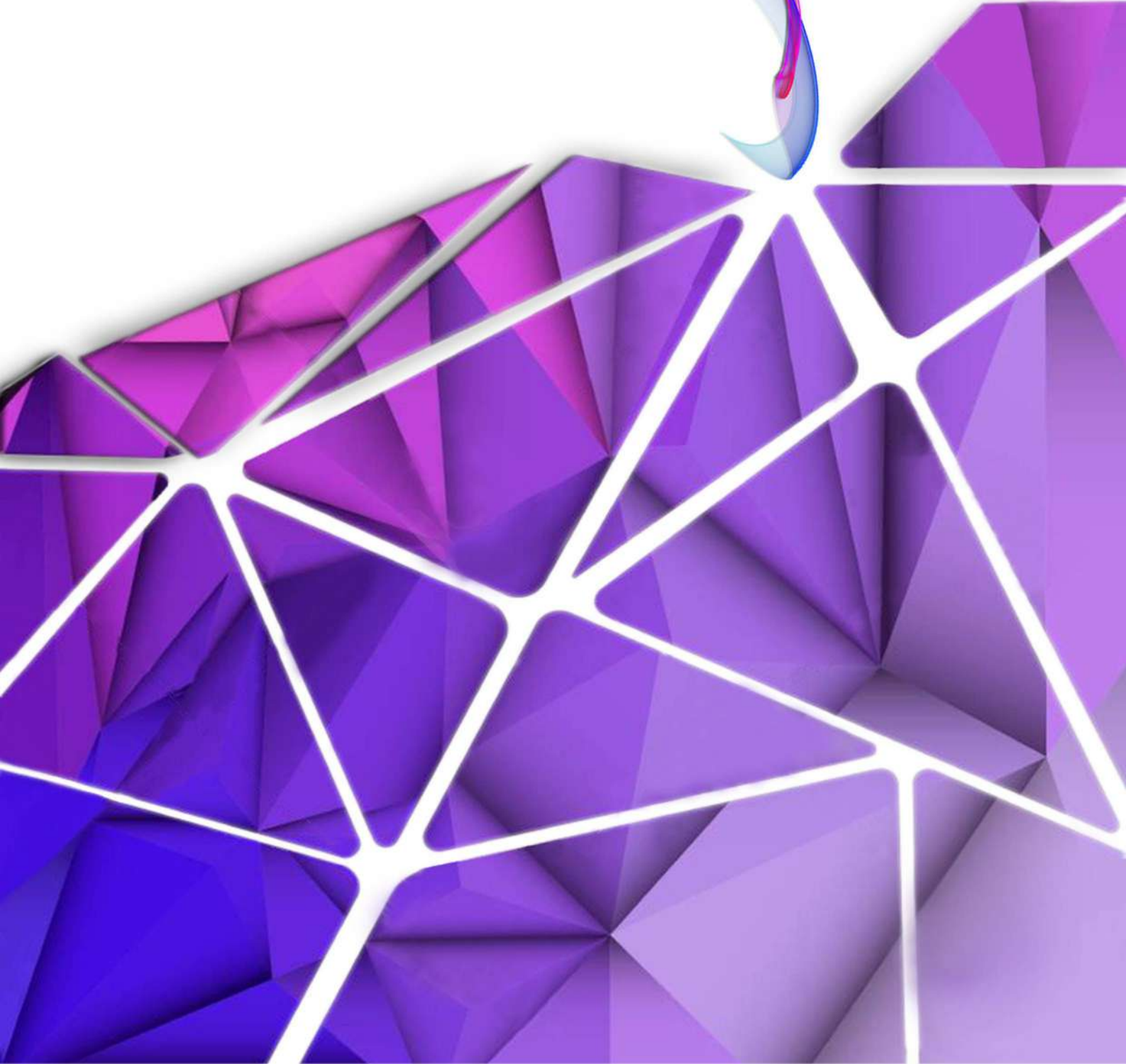


2023, CİLT 4 SAYI 1

e-ISSN 2717-9397

İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ



İÇİNDEKİLER

Ramazan OZKAN Zeynep ORMAN Ruya SAMLI	<i>A Novel Regression Test Selection Method with Graph-Based Genetic Algorithm</i>	1-12
Ruya SAMLI Zeynep ORMAN	<i>A Comprehensive Overview of Web-Based Automated Testing Tools</i>	13-28
Erhan ÖZKAN	<i>TiO₂ Esaslı Fotokatalitik Yüzeyler: Mekanizma ve Uygulama Alanları</i>	29-37
Gülçin DENİZ Burcu ACEL Büşra ACEL Ercan ÇAKIR N. Kamil SALİHOĞLU	<i>Dönel Çanakta Yüzey Bitirme Prosesinde Oluşan Atık Suyun Geri Kazanımı İçin Çapak Alma Taşlarının Yeniden Kullanımı</i>	38-47

A Novel Regression Test Selection Method with Graph-Based Genetic Algorithm

Ramazan OZKAN¹ , Zeynep ORMAN² , Ruya SAMLI^{*3} 

¹Nation Defense University, Air Force Academy, Department of Computer Engineering, Istanbul, 34334, Turkey

^{2,3}Istanbul University-Cerrahpasa, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering, Istanbul, 34320, Turkey

Research Article, Received Date: 11.04.2023, Accepted Date: 05.06.2023

Abstract

Regression test is a re-running test type to ensure that previously developed and tested software is not seriously affected by changes. Testing a software after changes is very important and necessary in order to maintain the software development and maintenance processes. However, repeating all tests after each change is not feasible especially in large-scale projects. Regression test selection which means selection of a subset of tests has emerged as a solution to this issue. This paper presents a GBGA (Graph-Based Genetic Algorithm) with the most compatible neighbor crossover as a solution to the regression test selection problem. In this GBGA, each individual in the population is located on a node of predefined graph structure and the probabilities of the crossover are limited depending on the neighborhood relations to increase population diversity, prevent premature convergence, and refine the convergence performance. This GBGA is applied to this problem to find the minimum set of test cases to enhance the performance of the genetic algorithm by locating populations on graphs and limiting the crossover option with neighborhood connections to increase the diversity. The results show that the proposed GBGA with the most compatible neighbor crossover has superior performance in terms of fitness value when compared to genetic algorithm.

Keywords: Regression test selection, Graph-based genetic algorithm, Compatible crossover, Optimization.

1. INTRODUCTION

A software system evolves during its development and maintenance phases with bug fixing, optimization, enhancement or adaptation activities in time and it must be re-tested after these changes. Regression testing is the activity which is applied to ensure that this evolution does not affect the approved functionality of the software system.

The simplest and safest approach for regression testing is to re-run all test cases, which is called the “re-test all” technique (Rothermel, 1996). However, repeating all test cases, which are previously executed successfully, after each software revision is not practical due to time and budget constraints especially in the case of large-scale software systems.

Therefore, a large amount of research effort has been spent in the literature to be able to select a subset of the test cases, which is called regression test selection, with acceptable cost-benefit balance and several approaches have been proposed for this purpose. The regression test selection process requires a balance between the cost and benefit of regression testing. Providing this balance is an NP-complete optimization problem and it cannot be solved in a reasonable amount of time for large-scale software systems which includes complex test suites (Yamuç et al., 2017). Many heuristic search-based solutions have been used in literature for regression test selection (Li et al., 2007; Mittal & Sangwan, 2018; Panichella et al., 2015; Yadav & Dutta, 2017) and one of them is the Genetic Algorithm.

Genetic Algorithm is a heuristic-based approach to solve problems that cannot be solved with deterministic methods. It mimics the evolution of the species based on natural selection (Mirjalili, 2019) in a population and includes 4 basic steps which are the creation of the initial population, selection, genetic operators and termination. In the first step, a random solution population is created from the search space.

*Corresponding author ruyasamli@iuc.edu.tr,

¹rozkan@hho.msu.edu.tr, ²ormanz@iuc.edu.tr

Then, based on a problem specific fitness function which mimics the adaptation level of species in nature, individuals are selected from the population. Genetic operators which are crossover and mutation are applied to selected individuals and a new generation is created. This process is repeated until to reach the termination criteria. Genetic Algorithm is an efficient heuristic search method and there is a huge amount of application in literature including regression test selection (Li et al., 2007; Mittal & Sangwan, 2018; Panichella et al., 2015; Yadav & Dutta, 2017).

On the other hand; the greatest weakness of Genetic Algorithm is the premature convergence due to the loss of population diversity over generations (Ghoumari & Nakib, 2019; Lee et al., 2008; Toffolo & Benini, 2003). Selecting the best individuals in each population creates a population that includes similar individuals, and this may cause immature convergence to a local optimum. In order to resolve this issue, several algorithms have been proposed in the literature (Bryden et al., 2006; Garousi et al., 2018; Lee et al., 2008; Lu et al., 2007; Mirjalili, 2019; Toffolo & Benini, 2003; Whitley et al., 1999). One of these proposals is the GBEA (Graph-based Evolutionary Algorithm) (Bryden et al., 2006) which uses graphs as a geographic structure to locate individuals in the population and indicate the links between them for mating limitations.

As a subfield of evolutionary algorithm, Genetic Algorithm can also be used on graphs for the problems encoded in a series of bit strings and named as GBGA. This paper proposes a tailored version of GBGA with the most compatible neighbor crossover for regression test selection. To our best knowledge, it is the first time that a GBGA has been applied to the regression test selection problem in the literature. This approach enhances the performance of the Genetic Algorithm by locating populations on a graph and limiting the crossover option with neighborhood connections. Another novelty of our paper is that, unlike the GBGA methods used in the literature, the parent selection step of the crossover operator is designed as selecting the most compatible one among the neighbors of the first parent coming from the crossover parent pool as the second parent. With this modification to the crossover operator, the genetic diversity of the GBGA is increased while it is preventing from transforming into a random search algorithm. The proposed GBGA with the most compatible neighbor and Genetic Algorithm are applied to a dataset including 216 test cases, 5610 requirements tested under these test cases and affected requirements lists of five different software versions of a software project used in the study of Garousi et al. (Garousi et al., 2018). The performance of the proposed GBGA is evaluated by comparing it with Genetic Algorithm in terms of fitness value, affected requirement coverage, irrelevant requirement coverage and execution time.

In terms of fitness value, as main comparison criterion, which is calculated with affected requirement coverage

and irrelevant requirement coverage rates, GBGA with the most compatible neighbor crossover gives better results than the Genetic Algorithm.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 overviews the related studies in literature according to underlying goals of this study. Section 3 explains the materials and the methodology and gives the case description and needs for the study. Section 4 presents the proposed GBGA for regression test selection. Section 5 demonstrates and analyzes the results. Finally, conclusions are given in Section 6.

2. BACKGROUND

2.1. Regression Test Selection

The regression test selection process aims to find test cases that are relevant to software changes based on impact analysis. There are several regression test selection methods proposed in the literature. Based on impact analysis differences, these techniques can be placed in three different groups: code analysis-based methods (Aggrawal et al., 2004; Gupta et al., 1992; Jones & Harrold, 2001; Rothermel, 1996; Yamuç et al., 2017), model-based methods (Briand et al., 2009; Engström et al., 2011; Farooq et al., 2007) and requirement analysis-based methods (Aggrawal et al., 2004; Özkan, 2017; Rothermel & Harrold, 1997).

2.1.1 Code Analysis-Based Methods

Most of the regression test selection methods focused on source code analysis such as execution trace analysis, data flow analysis and control flow analysis (Garousi et al., 2018).

The execution trace of a test case on a program means the execution sequence of program statements that are executed with the test case. In execution trace analysis, execution traces of test cases for old and new versions of the program are compared and test cases that have different execution paths are selected for regression test (Özkan, 2017). Akhin and Itsykson have used this method by identifying the modified software components and extracting the dependency information for test-software component relation (Akhin & Itsykson, 2009). Vokolos and Frankl have proposed a tool named Pythia (Vokolos & Frankl, 1998). This tool uses a slightly different version of execution trace analysis. It keeps a history of the basic blocks executed by each test case and to identify the modified program statements, compares the source files of the old and new versions of the program.

In data flow analysis, data interactions that have been affected by modifications are determined. To find affected interactions, definition-use pairs of the variables are analyzed and test cases executing the path from definition

to use of the modified variables are selected for regression. Gupta et al. (1992) proposed a data flow analysis based regression test selection method by using slicing algorithms to explicitly detect definition-use associations that are affected by a program change.

Control flow analysis-based methods are structured based on the analysis of Control Flow Graphs (CFG) differences of original and modified program. A control flow analysis based regression test selection method has proposed by Rothermel and Harold (Rothermel & Harrold, 1997) named as Graph Walk. In this method, control flow graphs of the old and modified program are compared and if any node in the control flow graphs of the old program is not equivalent to the corresponding node in the modified program, all test cases that execute mismatching node are added to test suite.

In these methods, it has been tried to find an optimum test suite that covers the relevance code part based on a time-consuming static analysis of source code. Basically, the cost of regression test selection and execution of selected test cases should be less than rerunning all test cases (Graves et al., 2001). Because of this concern, the application of code-analysis based methods especially for large-scale and complex systems is quite challenging and a limited number of empirical evaluations have been carried out in a real industrial context (Engström et al., 2010).

2.1.2. Model-Based Methods

Model-based regression selection methods use design models like class diagrams, sequence diagrams or case diagrams (Briand et al., 2009). Changes on these models and their impacts on previously verified test suite are analyzed. Farooq et al. (2007) proposed an UML (Unified Modeling Language) based selective regression testing strategy which uses state machines and class diagrams for change identification. Gorthi et al. (2008) proposed a model based approach in their study and used the UML Use Case Activity Diagram to analyze the impacts of changes and select the required test cases.

The application of model-based methods is also limited as the time-consuming static analysis of design models causes similar concerns as code analysis-based methods.

2.1.3. Requirement Analysis-Based Methods

Requirement coverage-based methods aim to find an optimum test set that covers the maximum number of affected requirements which means the requirements affected by software modifications and need to be re-tested. Chittimalli and Harrold (2008) have proposed the basic requirement coverage-based regression test-selection method in which the regression test suite is created by including modification-related requirements. In 2009, Krishnamoorthi and Mary, in 2016 Srikanth et al. and in 2010 Gu et al. have improved

this method by using additional factors other than affected requirement coverage such as irrelevant requirement coverage which are the ones that are not affected by the modifications, customer priority, fault impact and implementation complexity.

Regression test selection is an NP-complete optimization problem. There are multiple optimization algorithms used in the literature for regression test selection. Mirarab et al. (2012) have prioritized the selected subset of test cases using a greedy algorithm that maximizes minimum coverage in an iterative manner. Krishnamoorthi and Mary (2009) have proposed a test case prioritization technique using the Genetic Algorithm for a time-constrained execution environment. Li et al. (2007) have presented results from an empirical study of the application of several greedy, metaheuristic, and evolutionary search algorithms to six programs for regression testing. In 2011, Harman emphasized the regression test selection as a multi-objective optimization problem and in 2018 Garousi et al. have applied this approach to a specific problem by using the genetic algorithm. In their study, the requirement coverage-based regression test selection method is applied the data set used in this study by using a tailored GBGA which has not been applied to regression test selection before in literature.

2.2. Graph-Based Genetic Algorithm

The GBGA initially was used for problems which are already in a graph structure such as NN (Neural Networks) or genetic programming tree. In the study of Miller (1989), the adjacency matrix of a NN is transformed into a binary string by concatenating the adjacency matrix. Genetic programming invented by Koza & Stanford (1990) has swapped sub trees in a tree topology for crossover similar to a one-point crossover in the standard Genetic Algorithm. Korkmaz and Üçoluk (2004) have used the fitness value of sub trees for guiding recombination, not to lose high-value sub trees. In Doerr et al., (2007), unlike the general node-based structure, an edge-based representation has been proposed to improve optimization time. In this method, each edge is stored with its two neighbor edges. Samuel (2008) has proposed a matrix-based crossover and mutation operator by transforming the graph to the adjacency matrix. To be able to eliminate invalid solutions, a connectivity constraint was added to operators.

In the study (Ghoumari & Nakib, 2019), the adaptation of evolution strategy (associations of a crossing operator and a mutation operator) during evolution has been proposed. 20 different evolution strategies are represented in a graph structure and to minimize diversity loss during evolution if the strategy could not improve or protect the diversity it is changed with a new one. Diversity is calculated using Euclidean distance.

All of the above-mentioned methods have been proposed to use evolutionary algorithms on graph type represented problems. On the other hand, a different approach in GBEAs which use graphs to add geography to the population as a solution to premature convergence due to insufficient diversity in evolutionary algorithms was proposed (Bryden et al., 2006). In their approach, a suitable graph structure is selected, and then the evolutionary algorithm is applied to this structure with graph suitable operators. In the standard evolutionary algorithm, individuals that have good fitness values are selected for recombination in each population. Repeating this process decreases the diversity and creates a population that includes similar individuals. GBEA is proposed as a solution to premature convergence due to insufficient diversity in evolutionary algorithms. They use a different type of combinatorial graphs to impose a topology or “geographic structure” on an evolving population. To create a population, each individual is placed on a vertex of the selected graph structure. In order to improve diversity, individuals can be replaced only with the combination of neighbor individuals which are the members of the same edge as a geographic constraint in natural selection. Then a steady-state evolutionary algorithm proposed by Syswerda (1991) is used in which evolution proceeds one mating event at a time. For a mating event, an individual is selected randomly and based on the fitness value a neighbor individual is used for crossover. If the fitness value of the new individual is better than the selected one, it is replaced with the new one.

Based on the same approach, in a study different evolutionary computation problems have been categorized using 15 different connected combinatorial graph structures. A combinatorial graph is composed of vertices and edges which connect vertices as a set of unordered pairs. If any vertex in the graph can be traversed from any other vertex, that graph is defined as a connected graph. Each problem is run on several different graphs and based on the solution time problems are categorized. The choice of graph affects the recombination number for convergence and controls the spread of solutions within the population. It is explained that selecting a suitable graph and tuning can reduce optimization time significantly. Problems with simpler fitness function performed best with highly connected graphs (10 times faster), while problems with difficult fitness landscapes performed better (12 times faster) with less connected graphs. The study (Bryden et al., 2003) applied GBEA to the optimization of heat transfer in a complex system. Specifically, the time to solution and the diversity of the population were examined by using four different graph structures.

As mentioned above, GBEA is used in literature to overcome premature convergence problem of evolutionary

algorithm due to the loss of population diversity over generations. Genetic Algorithm which is used for the problems encoded in a series of bit strings is a subfield of evolutionary algorithms and it can also be used on graphs as an evolutionary algorithm. In this study, to benefit from advantage of increasing diversity of graph-based structure, a tailored version of GBGA with three different graph types is proposed and applied to regression test selection for the first time in literature. To increase the diversity of future generations, mating options of individuals in a population are limited with the neighbors of the selected individuals on the graph and the most compatible neighbor is selected for mating as a novelty on GBGA. The proposed approach is applied to a regression test selection problem including 216 test cases, 5610 requirements tested under these test cases and affected requirements lists of five different software versions of a software project used in the study of Garousi et al. (2018) and the application results show that GBGA with the most compatible neighbor has superior performance in terms of fitness value when compared to Genetic Algorithm.

3. MATERIALS AND METHODS

GBGA is a version of the Genetic Algorithm in which the population is placed on a graph inspired by the concept of distance in geography and mating is permitted only between neighboring individuals to be able to keep genetic diversity. In the scope of this study, three different graph types are used as baseline structures for populations of GBGA. Graphs are modeled as neighborhood matrices and these ones which are used to limit crossover possibilities between individuals. Crossover between any two individuals is possible only if there is a connection between their locations on the graph.

In this section of the paper, used graph types and details of GBGA with the most compatible neighbor crossover are explained.

3.1. Used Graph Types

Three different graphs are used as baseline structures for populations of GBGA: torus, Petersen, and 2-pre-Z graphs.

The Torus Graph is a graph whose vertices can be placed on a torus such that no edges cross (“Toroidal graph,” 2021). These graphs are grids that wrap at the edges. The $n \times m$ -torus (n corresponding to the number of consecutive vertexes on the big circle of torus and m corresponding to the number of consecutive vertexes on the small circle) denoted $T_{n,m}$, has vertex set $Z_n \times Z_m$ (Bryden et al., 2006). Each vertex has edges only with its neighbors. A 12×6 -torus is shown in Figure 1(a).

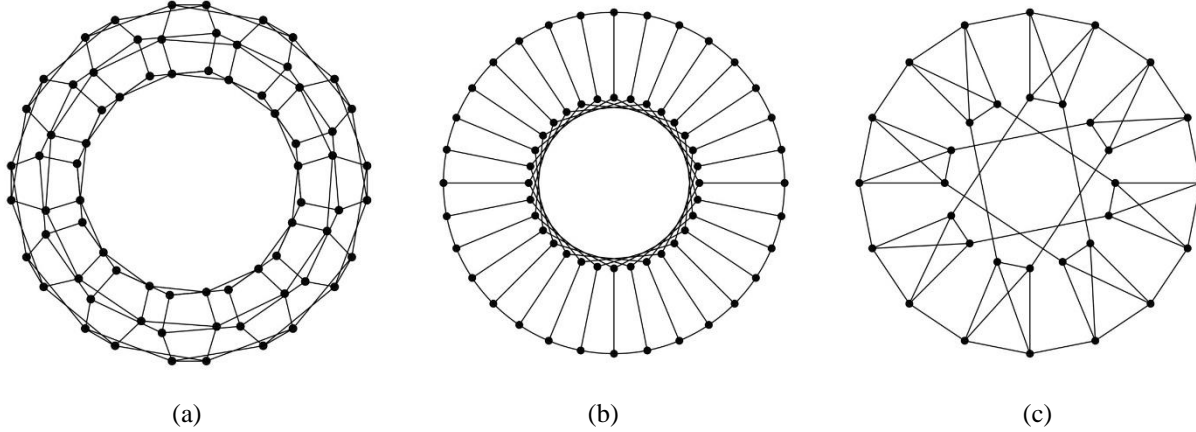


Figure 1. (a)12x6 torus graph, (b) 32x5 Petersen Graph, (c) 2-Pre-Z Graph with 32 vertexes (Bryden et al., 2006)

The generalized Petersen graph with parameters n and k (n corresponding to the number of consecutive vertexes on the outside and inside shape which is a circle here and k corresponding to the number of inside vertexes hopped for next edge) is denoted $P_{n,k}$ and has vertex set $0, 1, 2, \dots, 2n - 1$ (Bryden et al., 2006). An 32x5-Petersen graph is shown in Figure 1(b).

The 2-Pre-Z graph is a graph obtained as an intermediate product of the simplifying process defined in (Bryden et al., 2006) on a 4×4 complete graph. A 32 vertex 2-Pre-Z graph is shown in Figure 1(c).

3.2. Graph-Based Genetic Algorithm with The Most Compatible Neighbor Crossover

As in genetic algorithm, GBGA has 4 basic steps which are the creation of the initial population, selection of the individuals, applying the genetic operators (crossover and mutation), and termination. However, a neighborhood matrix which represents the graph structure in GBGA should be generated before the beginning of the search process and a problem-specific fitness function used to evaluate individuals in selection and crossover operations is defined for each problem. GBGA flow diagram can be seen in Figure 2.

3.2.1. Neighborhood Matrix

Neighborhood matrix, an example of which can be seen in Figure 3, is a symmetric (0,1)-matrix with zeros on its diagonal. Each row and column number represents a vertex on the graph and the same row and column number represent the same vertex. 0 means there is no connection between the vertexes that row and column number of the matrix element correspond and 1 means there is a connection. Neighborhood matrix corresponds to undirected adjacency matrix in graph theory and computer science. An adjacency matrix represents a finite graph. Its elements indicate whether pairs of vertices are adjacent or not in the graph.

Before starting GBGA, a $n \times n$ neighborhood matrix (n corresponding to the population size) is created for the graph that will provide the infrastructure for the population. This matrix specifies the connections between individuals which are used as mating possibilities in crossover operations.

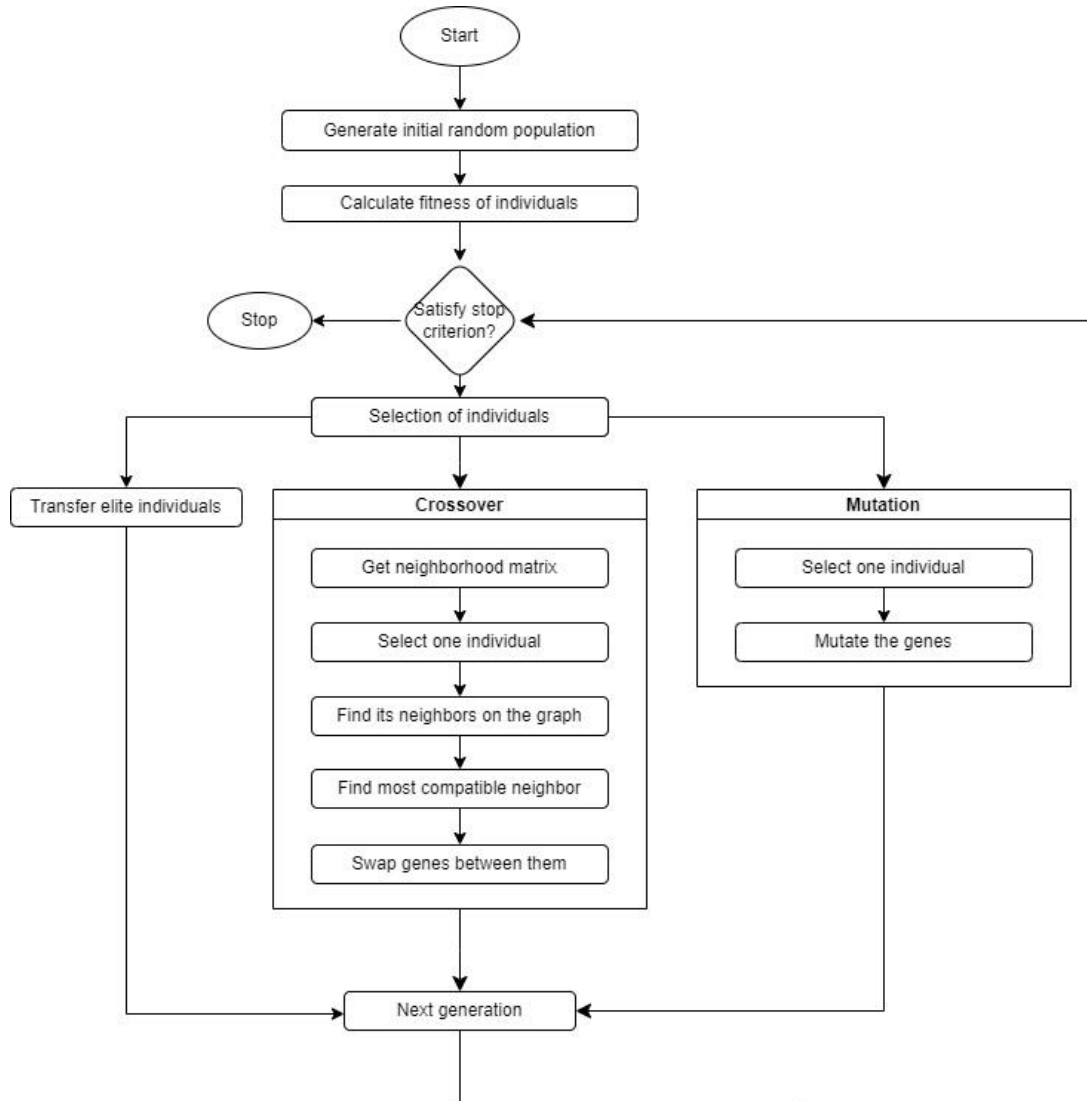


Figure 2. GBGA Flow Diagram

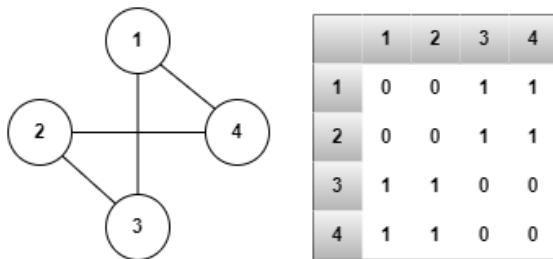


Figure 3. Sample Neighborhood Matrix

3.2.2. Initial Population Creation:

The initial population is generated randomly based on the problem-specific gene structure. It is assumed that each individual in the population is placed on a vertex

corresponding to its number in the selected graph. Graph vertex set should be equal to predetermined population size.

3.2.3. Fitness Function

In the Genetic Algorithm, a portion of the existing population is selected through a fitness function to breed a new generation. As in Genetic Algorithm, a problem-dependent fitness function which measures the quality of the individuals for selection should be determined in GBGA.

3.2.4. Parent Selection for Mating

Selected individuals through fitness function are the parent pool of the next generation. In the Genetic Algorithm, to produce each child individual via crossover operator, a pair from the parent pool is selected and a child is produced by using different crossover methods.

In GBGA with the most compatible neighbor crossover, only one of the parents is selected from the parent pool. Therefore, the crossover parent pool size is half of the Genetic Algorithm. To increase the diversity, the other one is chosen among the selected one's neighbors on the graph via neighborhood matrix. This selection process consists of two steps: *finding neighbors* and *selecting the most compatible neighbor*.

Finding neighbors: As shown in Figure1 vertexes have different edge structures for each graph. Neighbors of the selected parent are determined based on the neighborhood matrix of the used graph. In the neighborhood matrix, a binary representation is used to show edges between vertexes. Each binary value of "1" means the existence of a connection between the corresponding row and column vertexes and "0" means no connection. Therefore, column numbers with "1" values in the row corresponding to the selected individual indicate its neighbors.

Selecting the most compatible neighbor: Inspired natural mating, the most compatible neighbor is selected as the other parent for crossover. "Most compatible" means the similarity between parents. For example, for the problem addressed in this study, regression test selection, "most compatible" means test coverage similarity between parents. The neighbor which covers more common tests with the selected parent than other neighbors is chosen as the second parent.

Limiting the crossover between neighboring increases diversity and choosing the most compatible neighbor prevents the genetic algorithm from turning into a random search.

3.2.5. Crossover and Mutation

After the selection of parents, identical crossover and mutation operators with the genetic algorithm are used for GBGA.

4. PROPOSED ALGORITHM: REQUIREMENT COVERAGE BASED REGRESSION SELECTION BY USING THE GRAPH-BASED GENETIC ALGORITHM WITH THE MOST COMPATIBLE NEIGHBOR CROSSOVER

In the scope of this study, GBGA with the most compatible neighbor crossover is applied to a requirement coverage-based regression test selection problem for three different graphs defined in section 3 and it is compared with the traditional genetic algorithm. The proposed solution is developed in Matlab Global Optimization Toolbox by modifying the genetic algorithm structure provided by this toolbox.

4.1. Dataset

Dataset of the problem which includes a traceability matrix between the test cases and requirements and affected requirements lists of five different software versions of a software project are obtained from (Garousi et al., 2018). Traceability Matrix is the fundamental structure of the requirement coverage-based selection. It represents the relationship between the test cases and requirements in binary matrix format. Each row of the matrix represents a test case, and each column represents a requirement. Each binary value of "1" means that the corresponding row test case covers the corresponding column requirements and "0" means do not cover. This binary matrix representation makes it easy to find out the requirement coverage of candidate solutions in the GBGA search flow.

The size of the traceability matrix has the dimension of 216×5610 . 5610 system requirements are tested via 216 different test cases. The relationship between test cases and requirement list is many-to-many which means that a test case covers more than one requirement, and a requirement can be tested in more than one test case.

In addition to traceability matrix, affected requirements lists are used to calculate the requirements coverage performance of GBGA and Genetic Algorithm for five different software versions are represented in 1×5610 size binary vector format.

This dataset is used for empirical evaluation and tuning of the GBGA.

4.2. Proposed Solution

In this part of the paper, the basic steps of GBGA with the most compatible neighbor crossover are explained from an application perspective.

4.2.1. Initial Population Creation

The initial population is created randomly in the structure shown in Figure 4. Each gene as a binary bit represents a regression test case and each chromosome/individual as a 1×5610 size binary vector represents a set of test cases as a possible solution. For each bit, the value of "1" means the existence of the corresponding test case in the solution (regression test-set), and "0" means its absence.

Population size is an important parameter that significantly affects the performance of the Genetic Algorithm and also GBGA. An insufficient number of individuals will cause the Genetic Algorithm to quickly converge to a local minimum (Gotshall & Rylander, 2000). On the other hand, if the population includes too many chromosomes, the Genetic Algorithm may have a performance problem. De (1998) proposed a population size ranging from 50 to 100 chromosomes. Cobb & Grefenstette (1993) recommended a range between 30 and 80. In this study, population size is determined and used as 80 for GBGA and Genetic

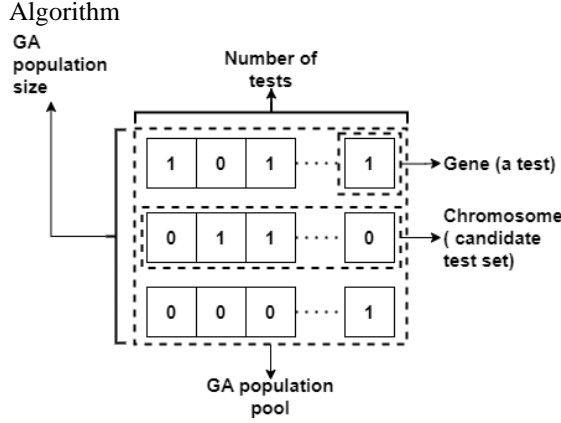


Figure 4. Representation of Population

4.2.2. Fitness Function

In this study, the fitness function is designed on minimizing irrelevant requirement coverage while maximizing the affected requirement coverage. The affected requirement coverage of a regression test set is the proportion of affected requirements covered by that test set to the total number of affected requirements. On the other hand, irrelevant requirement coverage is one minus the proportion of irrelevant requirements covered by a subject test set to the total number of irrelevant requirements. It was formulated as shown in Equation 1 in order to construct it as finding the smallest value. arv is used for affected requirement coverage, irv is used for irrelevant requirement coverage. Identical fitness function is used for classic and GBGAs.

$$Fitness(c) = \frac{1}{arv + irv}$$

Equation 1. Fitness function

4.2.3. Parent Selection for Mating

As defined in section 3, only one of the parents is obtained from the crossover parent pool. The other parent is selected among the neighbors of the first parent on the graph. After determining the neighbors via neighborhood matrix, the most compatible neighbor is selected as the second parent. For the requirement coverage-based regression test selection problem “the most compatible neighbor” means the neighbor which has more common tests with the chosen parent than the other neighbors. After determining the parents, an identical crossover operator with the Genetic Algorithm is used to generate child individuals.

4.2.4. Termination

Termination criteria determine what causes the algorithm to terminate. In this study, the maximum generation number as 120 and the maximum generation number where the best value does not change more than a certain threshold as 20

are used as the termination criteria for Genetic Algorithm and GBGA. Algorithms stop when reaching any of these two criteria.

4.3. Tuning Parameters of Graph-Based Genetic Algorithm

To be able to reach the best performance, internal parameters of the Genetic Algorithm (e.g., crossover and mutation rates) must be properly tuned for a specific case. Many studies have shown that the tuning of a Genetic Algorithm has a strong impact on its performance. In this study, crossover rate and mutation rate parameters of both the Genetic Algorithm and GBGA for three different graphs are tuned empirically based on the fitness value and execution time. Each GBGA and Genetic Algorithm is executed 100 times for each crossover rate starting from 0.05 to 1 with an increasing value of 0.05 and for each mutation rate starting from 0.01 to 0.2 with an increasing value of 0.01. In order to assess the performance with each crossover rate and mutation rate, average values of fitness values across 100 runs are used. Determined values after this tuning process are shown in Table 1.

Table 1. Tuned parameter values

	Crossover Rate	Mutation Rate
GA	0.6	0.07
Torus GBGA	0.75	0.03
Petersen GBGA	0.8	0.04
2-Pre-Z GBGA	0.7	0.06

5. RESULTS AND DISCUSSIONS

In order to test the performance and compare, GBGA and Genetic Algorithm are used to find the minimum set of tests for regression test selection based on a data set which includes 216 tests, 5610 requirements verified by these tests, and an affected requirement list for five different software versions. Each algorithm is run 100 times for each software version and each run starts with a different initial population and stops when one of the termination criteria is met. The performance of the GBGA with three different graphs and Genetic Algorithm is compared in terms of fitness value, affected requirement coverage, irrelevant requirement coverage, and execution time.

5.1. Fitness Value Comparison

From the fitness value aspect, GBGA with three different graphs provides better results (lower values are better because fitness function is formulated as finding the smallest value) than the Genetic Algorithm for all five software versions as shown in Figure 5. GBGA with Petersen graph is slightly better than the other two GBGAs with torus and 2PreZ graphs. It can be said that the Petersen

graph is the best option for requirement coverage-based regression test selection with GBGA.

In this study, fitness value is the one and only determinant for solution selection. Therefore, it is the most important factor to make a comparison in the scope of this study. The fitness value is the primary comparison criterion in this study. As discussed in Section 4, the fitness value of a solution is the combination of affected and irrelevant requirement coverage.

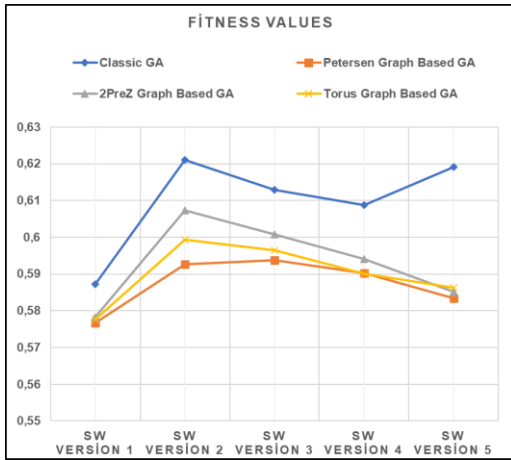


Figure 5. Fitness Value Comparison

5.2. Affected and Irrelevant Requirement Coverage Comparison

In addition to fitness value comparison, coverage ratios of affected and irrelevant requirements are also compared separately. As explained in section 2, affected requirements are those which correspond to the modifications made in the source code across two software versions and irrelevant requirements are the ones that are not affected by the modifications.

Requirement coverage comparison has two different scenarios as shown in Figures 6 and 7. Genetic Algorithm has slightly better results in affected requirement coverage perspective than GBGAs, while GBGAs have clearly better results in irrelevant requirement coverage perspective.

When compare GBGAs; GBGA with 2PreZ graph is the best one among GBGAs in affected requirement coverage, while GBGA with Petersen graph is the best in irrelevant requirement coverage. However, affected and irrelevant requirements coverages are secondary criteria, and these comparisons are given as details of fitness value comparison.

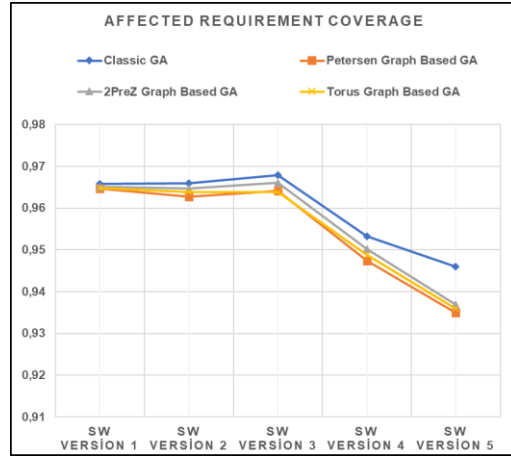


Figure 6. Affected Requirement Coverage Comparison

5.3. Execution Time Comparison

In execution time comparison seen in Figure 8, the Genetic Algorithm requires less execution time than GBGAs as expected. “Finding the most compatible neighbor” process is the reason for this difference. It increases the execution time of the GBGAs linearly depending on the number of neighbors. However, this difference is negligible when compared to the execution of tests cases.

When comparing the GBGAs, it is observed that GBGA with Petersen graph has a lower execution time values than the other two because its average neighbor number for a vertex is less than others.

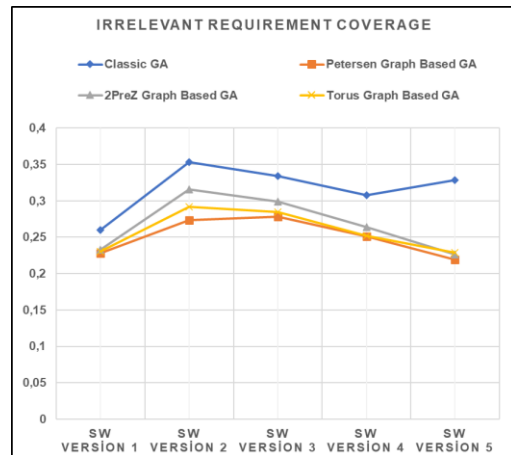


Figure 7. Irrelevant Requirement Comparison

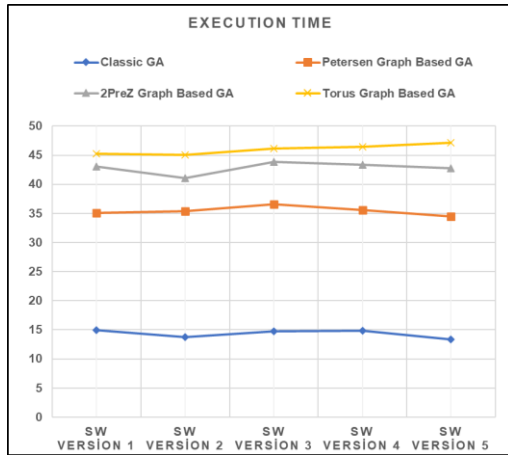


Figure 8. Execution Time Comparison

6. CONCLUSIONS

This paper presents a GBGA modeled with three different graphs named torus, Petersen, and 2PreZ for requirement coverage-based regression test selection. To the best of the authors' knowledge, there is no study in the literature using a GBGA for regression test selection problems.

In order to evaluate the performance of the GBGA with the most compatible neighbor crossover, it is compared with the Genetic Algorithm in terms of fitness value, affected requirement coverage, irrelevant requirement coverage, and execution time. When evaluated in terms of fitness value, which is the one and only determinant for solution selection as explained in detail in section 5, the GBGA gives better results than the Genetic Algorithm in all five different software versions included in the dataset.

In this study, the GBGA with the most compatible neighbor crossover is proposed as a solution to requirement coverage-based regression test selection. However, the application model of the GBGA provides a general and flexible structure which is applicable to most of the optimization problems by customizing the genetic structure based on problem-specific data and tuning the parameters of genetic operators.

In the scope of this study, three different graph types are used as the baseline structure for GBGA. These graphs are obtained from the study of Bryden, Ashlock, Corns, and Stephen (Bryden et al., 2006). They have reviewed 15 different graphs in their study for GBGA. Inspired by this paper, other graph types which are not used in our study can also be applied to the regression test selection problem.

Application of GBGA to different optimization problems with a newly designed crossover operator would be a step

toward understanding what types of problems it is applicable to.

Future work directions can be applying the proposed approach with more graph types (1), and to different optimization problems (2).

REFERENCES

- Aggrawal, K. K., Singh, Y., & Kaur, A. (2004). Code coverage based technique for prioritizing test cases for regression testing. In *Proceedings of ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*.
- Akhin, M., & Itsykson, V. (2009). A regression test selection technique based on incremental dynamic analysis. In *Proceedings of Software Engineering Conference in Russia CEE-SECR*.
- Briand, L. C., Labiche, Y., & He, S. (2009). Automating regression test selection based on UML designs. *Information and Software Technology, 51*, 16–30.
- Bryden, Kenneth M., Ashlock, D. A., McCorkle, D. S., & Urban, G. L. (2003). Optimization of heat transfer utilizing graph based evolutionary algorithms. *International Journal of Heat and Fluid Flow, 24*(2), 267–277.
- Bryden, Kenneth Mark, Ashlock, D. A., Corns, S., & Willson, S. J. (2006). *Graph-Based Evolutionary Algorithms. 10*(5), 550–567.
- Chittimalli, P. K., & Harrold, M. J. (2008). Regression Test Selection on System Requirements. In *Proceedings of the 1st India Software Engineering Conference, 87–96*.
- Cobb, H. G., & Grefenstette, J. J. (1993). Genetic Algorithms for Tracking Changing Environments. In *Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms 523–530*.
- De, K. (1988). *Learning with Genetic Algorithms: An Overview. 121–138*.
- Doerr, B., Klein, C., & Storch, T. (2007). Faster evolutionary algorithms by superior graph representation. In *Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence, FOCI, 245–250*.
- Engström, E., Runeson, P., & Ljung, A. (2011). Improving regression testing transparency and efficiency with history-based prioritization - An industrial case study. In *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Software Testing, Verification, and Validation, ICST*.
- Engström, E., Runeson, P., & Skoglund, M. (2010). A systematic review on regression test selection

- techniques. *Information and Software Technology*, 52(1), 14–30.
- Farooq, Q., Iqbal, M. Z. Z., Malik, Z. I., & Nadeem, A. (2007). An approach for selective state machine based regression testing. *In Proceedings of the 3rd International Workshop on Advances in Model-Based Testing - A-MOST*, 44–52.
- Garousi, V., Özkan, R., & Betin-Can, A. (2018). Multi-objective regression test selection in practice: An empirical study in the defense software industry. *Information and Software Technology*, 103.
- Ghoulami, A., & Nakib, A. (2019). *Graph based adaptive evolutionary algorithm for continuous optimization*. September. <http://arxiv.org/abs/1908.08014>
- Gorthi, R. P., Pasala, A., Chanduka, K. K., & Leong, B. (2008). Specification-based approach to select regression test suite to validate changed software. *Neonatal, Paediatric and Child Health Nursing*, 153–160.
- Gotshall, S., & Rylander, B. (2000). Optimal population size and the genetic algorithm. *In Proceedings On Genetic And Evolutionary Computation Conference*, 1–5.
- Graves, T. L., Harrold, M. J., Kim, J. M., Porter, A., & Rothermel, G. (2001). An empirical study of regression test selection techniques. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 10(2), 184–208.
- Gu, Q., Tang, B., & Chen, D. (2010). Optimal Regression Testing based on Selective Coverage of Test Requirements. *In Proceedings of International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications, ISPA*.
- Gupta, R., Harrold, M. J., & Soffa, M. L. (1992). An approach to regression testing using slicing. *Software Maintenance, 1992*.
- Harman, M. (2011). Making the case for MORTO: Multi objective regression test optimization. *In Proceedings of 4th IEEE International Conference on Software Testing, Verification, and Validation Workshops, ICSTW*, 111–114.
- Jones, J. a., & Harrold, M. J. (2001). Test-suite reduction and prioritization for modified condition/decision coverage. *In Proceedings of IEEE International Conference on Software Maintenance, ICSM*, 92–103.
- Korkmaz, E. E., & Üçoluk, G. (2004). A controlled genetic programming approach for the deceptive domain. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 34(4), 1730–1742.
- Koza, J. R., & Stanford, K. E. (1990). *Genetic Programming: A Paradigm For Genetically Breeding Populations Of Computer Programs To Solve Problems*.
- Krishnamoorthi, R., & Sahaaya Arul Mary, S. A. (2009). Factor Oriented Requirement Coverage Based System Test Case Prioritization of New and Regression Test Cases. *Informaton and Software Technology*, 51, 799–808.
- Lee, Z. J., Su, S. F., Chuang, C. C., & Liu, K. H. (2008). Genetic algorithm with ant colony optimization (GA-ACO) for multiple sequence alignment. *Applied Soft Computing Journal*, 8(1), 55–78.
- Li, Z., Harman, M., & Hierons, R. M. (2007). Search algorithms for regression test case prioritization. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 33(4), 225–237.
- Lu, J., Fang, N., Shao, D., & Liu, C. (2007). An improved immune-genetic algorithm for the traveling salesman problem. *In Proceedings of International Conference on Natural Computation, ICNC*, 297–301.
- Miller, G. F. . T. P. M. (n.d.). *Designing Neural Networks using Genetic Algorithms*.
- Mirarab, S., Akhlaghi, S., & Tahvildari, L. (2012). Size-constrained regression test case selection using multicriteria optimization. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 38(4), 936–956.
- Mirjalili, S. (2019). *Evolutionary Algorithms and Neural Networks*. Springer, Cham.
- Mittal, S., & Sangwan, O. P. (2018). Prioritizing test cases for regression techniques using metaheuristic techniques. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 39(1), 39–51.
- Özkan, R. (2017). *Multi-Objective Regression Test Selection in Practice: An Industrial Case Study*. METU.
- Panichella, A., Oliveto, R., Di Penta, M., & De Lucia, A. (2015). Improving multi-objective test case selection by injecting diversity in genetic algorithms. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 41(4), 358–383.
- Rothermel, G. (1996). *ERothermel, G. (1996). Efficient, Effective Regression Testing Using Safe Test Selection Techniques*. Clemson University. *Efficient, Effective Regression Testing Using Safe Test Selection Techniques*.
- Rothermel, G., & Harrold, M. J. (1997). A safe, efficient regression test selection technique. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 6(2), 173–210.

- Samuel, W. S. Y. (2008). A Graph Based Evolutionary Algorithm. In *Thesis* (Issue July).
- Srikanth, H., Hettiarachchi, C., & Do, H. (2016). Requirements Based Test Prioritization Using Risk Factors. *Information and Software Technology*, 69, 71–83.
- Syswerda, G. (1991). A Study of Reproduction in Generational and Steady-State Genetic Algorithms. *Foundations of Genetic Algorithms, 1*, 94–101.
- Toffolo, A., & Benini, E. (2003). Genetic diversity as an objective in multi-objective evolutionary algorithms. *Evolutionary Computation*, 11(2).
- Toroidal graph. (2021). In *Wikipedia*.
- Vokolos, F. I., & Frankl, P. G. (1998). Empirical Evaluation of the Textual Differencing Regression Testing Technique Outsource Laboratories. In *Proceedings of ACM Sigsoft International Conference on Software Testing and Analysis, ISSTA*, 44–53.
- Whitley, D., Rana, S., & Heckendorn, R. B. (1999). The island model genetic algorithm: On separability, population size and convergence. In *Journal of Computing and Information Technology*, 7(1), 33–47.
- Yadav, D. K., & Dutta, S. (2017). Regression test case prioritization technique using genetic algorithm. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 509, 133–140.
- Yamuç, A., Cingiz, M. Ö., Biricik, G., & Kalipsiz, O. (2017). Solving test suite reduction problem using greedy and genetic algorithms. In *Proceedings of International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI*, 1–5.

A Comprehensive Overview of Web-Based Automated Testing Tools

Ruya SAMLI*¹ , Zeynep ORMAN² 

^{1,2}Istanbul University-Cerrahpasa, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Istanbul, 34320, Turkey

Research Article, Received Date: 18.05.2023, Accepted Date: 14.06.2023

Abstract

In the software testing process, automation testing is generally required for obtaining better test results and saving time and money. Automation testing is beneficial, especially when web applications are being tested according to performance, vulnerability, security, load, and stress. Today, there are many web-based automated tools with various properties, which are developed by different producers. Some of them can only be used for specific purposes and produce pretty good results, while others can be used in a broader area but produce average results. Web-based automated tools differ from each other according to various criteria such as cost, license, technical support, language support, user experience, documentation, browser support, environment support, testing type, and hardware requirements. It is often hard to determine which web-based automated tool is appropriate for a specific testing process. Since many of these tools are licensed and costly, it is sometimes impossible to make trials and decide on the proper automated tool. Some studies in the literature address this problem by examining only a few tools and only a few comparison criteria. However, the comparison of automated tools is an important issue that needs to be addressed in more detail. In this paper, for the first time in the literature, 14 web-based automated tools are compared according to 20 different criteria, and the results of this comprehensive review are presented.

Keywords: Software testing, Software tool, Web application testing, Automated testing tool.

1. INTRODUCTION

Software testing has become a popular concept in the last decade because of the tremendous growth in software applications. The primary motivation of software testing is to prove that the software is working as required by customers, programmers and users, and always producing the correct results. It is also known that risk management is a critical concept in software engineering (Masso et al., 2020), and the testing process can be used to determine the risks in the software. Testing process includes test plan, test environment, documentation, reporting and test cases/scenarios. Software tests can be grouped according to the tests' content such as database testing, mobile application

testing, interface testing, and web application testing. Apart from these, software tests can be categorized into several groups according to different criteria. Some of the categorization is as follows. According to their primary purposes: functional testing, non-functional testing; according to the testing times: active testing, passive testing, according to the levels: unit testing, integration testing, system testing, acceptance testing (Elbaum et al., 2003; Bertolino, 2007; Kundu, 2012; Hedayati et al., 2015; Falah et al., 2015) according to testers' knowledge of the system: the black-box testing, the white-box testing (Monier & El-mahdy, 2015). All software testing processes about all these testing styles can be performed by two different methods: (1) by human beings (manual testing), and

*Corresponding author ruyasamli@iuc.edu.tr, ²ormanz@iuc.edu.tr

(2) by machines/other software (automated testing). Automated testing includes many different abilities about testing and it is faster than manual testing (Catelani et al., 2011; Gupta et al, 2015). Because of the unbelievable growth of the softwares, automated testing is often preferred over manual testing in recent years.

This paper discusses web application testing and web-based automated system testing explicitly. In web application testing, web security, which is the site's ability to handle the traffic and the site's regular users, is also checked (Petukhov & Kozlov, 2008).

This paper examines web-based automated testing tools. The main aim is to assist the software testers in finding out the best web-based automated testing tools, thus efficiently and effectively performing web-based testing. There are many factors to be considered to refer to the very best tools, such as browser compatibility, technical support, and integration. Some studies in the literature have already analyzed some of the software testing tools. Therefore, a review is given below.

Table 1. A literature review of web-based automation tools

Study	Tools	Comparison Features	Major findings
(Križanić et al., 2010)	Grinder, JMeter, NeoLoad, WebLoad	Security support, Test results report	Although commercial tools offer a richer set of features and are, in general, easier to use, available open-source tools proved to be quite sufficient to perform given tasks successfully.
(Gogna & Kumari, 2011)	Watir, WET	Developer(s), Stable release, Language, The platform, Testing type, License	They have different limitations, so both can be better than the other in different situations.
(Kaur & Kumari, 2011)	QTP, TestComplete	Data-driven testing, Test result reports, Reusability, Execution speed, Record and playback, Recording efficiency, User experience, Cost	TestComplete is better used for applications with low-security requirements, and QTP is better where data security is required even during testing.
(Chandel et al., 2013)	JMeter, Loadrunner	Performance, Speed, Throughput, Efficiency	They have different limitations, so both can be better than the other in different situations.
(Kaur & Gupta, 2013)	QTP, Selenium, Test complete	Usability, Efficiency	These tools can be selected based on the type of application, the budget, and the efficiency required.
(Al-Zain et al., 2013)	Sahi, Selenium, TestComplete, VS Web Test	Record and playback, Handling of page waits, Browser support, Technical support	It has been shown that free and straightforward automation tools can be much more potent than commercially sophisticated and expensive tools in many situations.
(Dukes et al., 2013)	Paros, WebScarab, JbroFuzz, Acunetix, Fortify	Functionality, Cost, Platform support, Language support	Open-source tools can conduct security testing with limited results.
(Gogna, 2014)	Selenium, Watir	Functionality	They have different limitations, so both can be better than the other in different situations.
(Singh & Tarika, 2014)	Selenium, Skilu, Watir	Data-driven testing, Efficiency, Language support, Reusability of code	They have different limitations, so all can be better than others in different situations.
(Dubey & Shiwani, 2014)	Ranorex, TestComplete	Cost, Efficiency, Capability, Data-driven testing, Test result reports, Reusability, Record and playback, User experience	They have different limitations, so both can be better than the other in different situations.
(Daud et al., 2014)	Acunetix, Nessus	Vulnerability, Cost, Software support, Efficiency	Vulnerability scanning is a useful feature for organizations to prefer any of these tools.
(Sharmila & Ramadevi, 2014)	JMeter, WAPT	Average response/sec, Successful sessions, Bandwidth, CPU utilization, Total throughput/sec, Total KBytes sent, Standard deviation, Median	JMeter has beneficial and efficient bandwidth for testing web applications.
(Bharti & Dutt, 2014)	QTP, Selenium, Test Complete	Ease of operation, Usability, Area of application, Efficiency	These tools can be selected based on the type of application, the budget, and the efficiency required.
(Bindal & Gupta, 2014)	QTP, Selenium, Test Complete, SOAP UI	Usability, Efficiency	They have different limitations so each one can be better than the others in different situations.
(Angmo & Sharma, 2014)	Selenium, Watir	Execution speed, Record and playback, Platform support, Browser support, Language support, Test result reports, Accessibility, Usability	Selenium is a better choice in various conditions but Watir is suitable under certain specific situations.

(Sharma & Angmo, 2014)	FitNesse, LoadRunner, QTP, Selenium, SilkTest, TestComplete, TestNg, Tosca, Watir, WinRunner	Language support, Platform support, Testing type, Development status, Stable/initial release/development year, License, Developer, Browser support	Selenium is determined as the best tool according to the criteria in this study.
(Singh & Sharma, 2015)	Sahi, Selenium	Cost, Record and playback, Efficiency, Browser support, Platform support, Language support, Test result report, User experience	Sahi performs better than Selenium. However, Selenium is a better choice when platform compatibility and programming language support are required.
(Gupta et al., 2015)	QTP, Selenium	Cost, Language support, Application support, File upload system, Effort, and skill, Execution speed	They have different limitations, so both can be better than the other in different situations.
(Meenu & Kumar, 2015)	QTP, Selenium, SoapUI, Test Complete	Cost, Platform support, Application support, Browser support, Language support, Technical support, Record and playback, User experience, Test result report, Data-driven framework	They have different limitations, so both can be better than the other in different situations.
(Kunte & Mane, 2017)	QTP, Selenium	Cost, Efficiency, User experience, Platform support, Language support, Execution speed	Selenium is a better choice for web applications than QTP, which provides a tester with more flexibility to test the applications under various complex scenarios.
(Radhakrishna & Nachamai, 2017)	JMeter, Soap	Response time	They have different limitations, so both can be better than the other in different situations.
(Abbas et al., 2017)	JMeter, LoadRunner, Microsoft Visual Studio, Siege	Test scripts generation, Test result report, Application support, Cost	JMeter provides the best results, but the proper tool should be chosen based on the budget, time, and nature of the software system under consideration that has to be tested.
(Kakaraparthi, 2017)	Ranorex, Selenium, Test Complete	Cost, Platform support, Language support, Data-driven testing, Record and playback, Application support, User experience, the Test result report	They have different limitations, so both can be better than the other in different situations.
(Mahmood & Sirshar, 2017)	Selenium, SAHI, WATIR, QTP	Language Support, User experience, Hardware Requirement, Cost	It can be practical to utilize open-source tools.
(Qasaimah et al., 2018)	Acunetix, Burp Suite, NetSparker, Nessus, OWASP ZAP	Vulnerability	ZAP vulnerability is the highest. However, Acunetix and NetSparker have more accurate results.
(Jain & Rajnish, 2018)	OpenScript, Selenium	Cost, Efficiency, Hybrid-driven framework, Test result report, Reusability of code, Execution speed, Record and playback, IDE support, User experience, Application support	Selenium has an easy-to-use and efficient playback.
(Kaur, 2021)	JMeter, Load Runner, Silk, Selenium	Performance, Load, Browser Supported, Language Supported, License Types	Automation testing is more useful and time-saving than manual testing.
(Patil & Pawar, 2021)	Many different tools	Reports, level of skills, documentation, DevOps support, integration with ALM	The selection of test automation tools in the BFSI business unit would depend on the required budget and type of the project
(Prasad et al., 2021)	Many different tools	Modifiability, understandability, extensibility, modularity, compatibility, cost-effectiveness, flexibility, reliability	The study summarizes the existing literature.
(Srivastava et al., 2021)	Many different tools	Test development platform, scripting languages, programming skills, script creation time	Different types of applications need different types of protocols.

From the literature studies, it can be realized that the comparative studies of web-based automated testing tools have examined only a few tools and only a few comparison criteria. The most used criteria can be summarized as cost, user experience, test result report, language support, platform support, and environment support. In almost every study, it has been concluded that it is hard to select the best testing tool as they have

different advantages and disadvantages. Whether one tool is better than the other could be decided based on the existing criteria, but not in general. With the motivation of these results from the previous studies, a large number of web-based testing tools (14) and a large number of comparison criteria (20) have been examined in this paper. We have compared both the open-sourced and licensed tools, whereas most studies have only made

comparisons with the open-sourced tools. Therefore, our research is more comprehensive than the other literature on web-based automated testing tools.

2. WEB-BASED AUTOMATED TESTING TOOLS

The web-based automated testing tools discussed in this study are Acunetix, FitNesse, JMeter, Katalon Studio, LoadRunner, QTP (QuickTest Professional), which is also known as HP Unified Functional Testing (HP UFT), Ranorex Studio, Sahi Pro, Selenium, Telerik Test Studio, TestComplete, TestIO, TestingWhiz, and Webload. Some brief explanations of these tools were given below.

Acunetix, which was developed in 2005, can detect and report over 4500 web application vulnerabilities. Some of them are: Cross-Site Scripting, SQL Injection, XML Injection, Malicious File Inclusion, Unrestricted URL Access, HTTP Response Splitting, Information Leakage, Improper Error Handling, Weak Authentication, Session Fixation and so on. The vulnerability scanner tool was initially developed for Windows until 2014. A Linux version and Acunetix 360 for enterprises were formed in 2018, respectively. An example scene of the Acunetix test report is given in Fig. 1 (Acunetix, 2020).

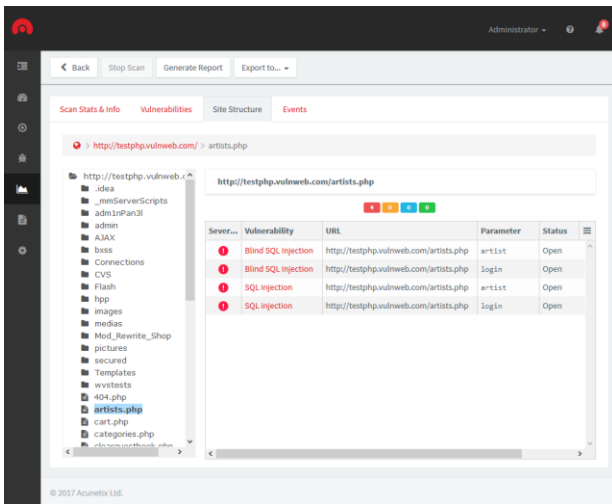


Fig. 1. An example Acunetix test report

FitNesse is all of a web server, a wiki, and an automated testing tool for software specially used for acceptance testing. The FitNesse project started in 2004 in Java with a fork of Fit classic Java, and new versions were created with new plug-ins until 2010. A FitNesse test report example is given in Fig. 2 (FitNesse, 2020).

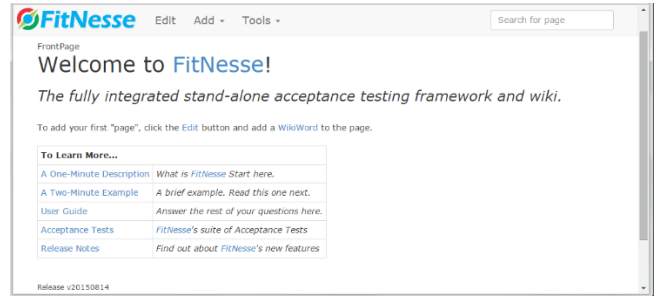


Fig. 2. An example FitNesse test report

JMeter, which was developed by Apache in 1998, is a tool for both dynamic and static resources. JMeter is used to simulate a heavy load on a server, object, or network group or to analyze the overall performance of a web application under many load types. JMeter can analyze the ability to load and perform tests of many different applications such as databases, message-oriented middleware, and internet protocols. An example JMeter test report is given in Fig. 3 (JMeter, 2020).

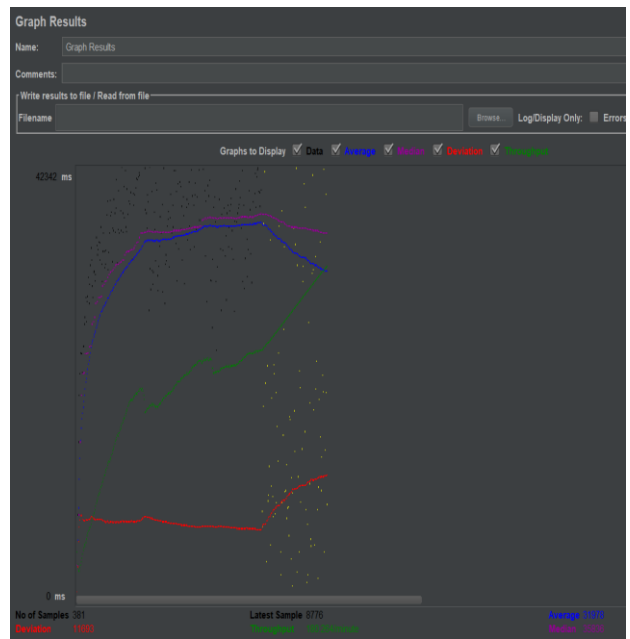


Fig. 3. An example JMeter test report

Katalon Studio (or informally Katalon) is used to help the users to generate automated tests cross-platform. The tool developed in 2015 is compatible with all operating systems, browsers, and devices. Differently from many web-based automated tools, Katalon has both open-sourced (Katalon Studio) and licensed (Katalon Studio Enterprise and Katalon Runtime Engine) versions. An example scene of the Katalon

Studio test report is given in Fig. 4 (Katalon Studio, 2020).



Fig. 4. An example Katalon Studio test report

LoadRunner was presented by MicroFocus in 1993. It offers a simplified and faster testing experience to the users, and it supports performance testing for the most comprehensive range of protocols and over 50 technologies and application environments. LoadRunner, which has more than 40 versions up to today, emulates many concurrent virtual users to apply real workloads to any application and capture end-user response times. An example LoadRunner test report is given in Fig. 5 (LoadRunner, 2020).

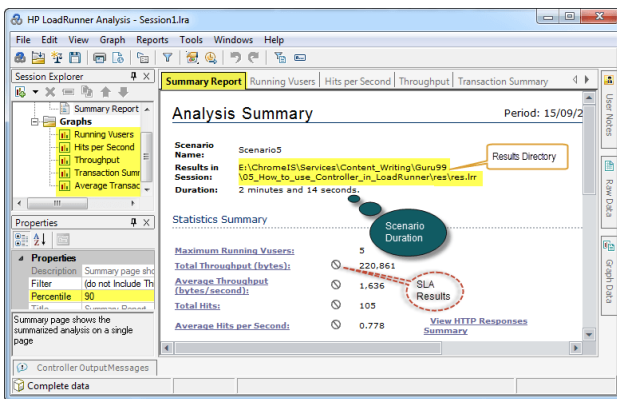


Fig. 5. An example LoadRunner test report

QTP (QuickTest Professional), which is also known as HP Unified Functional Testing (HP UFT), provides users to execute and create automated apps on web, mobile, and desktop platforms. QTP was developed in 2001, and there are many versions today. The tool's some features are; automated documentation, exception handling, data-driven testing, extensibility, error handling mechanism, and unique handling mechanism. An example QTP test report is given in Fig. 6 (QTP, 2020).

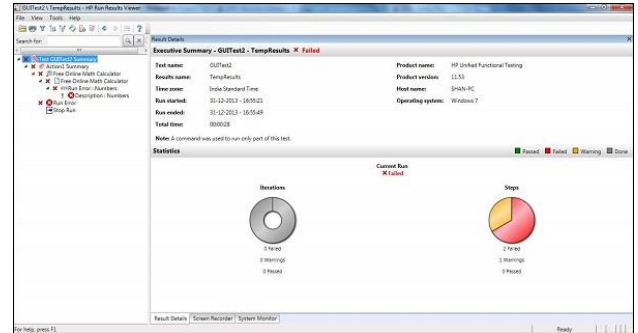


Fig. 6. An example QTP test report

Ranorex Studio is one of the web application testing automation tools covering all mobile, desktop, and web applications. Some of the features are record and playback, GUI recognition, reusable test code, and integration with various tools. The tool delivers robust object recognition, supports web frameworks and web technologies, performs what testers refer to as web element identification, integrates with the current solutions, and has various useful properties. An example Ranorex Studio test report is given in Fig. 7 (Ranorex Studio, 2020).

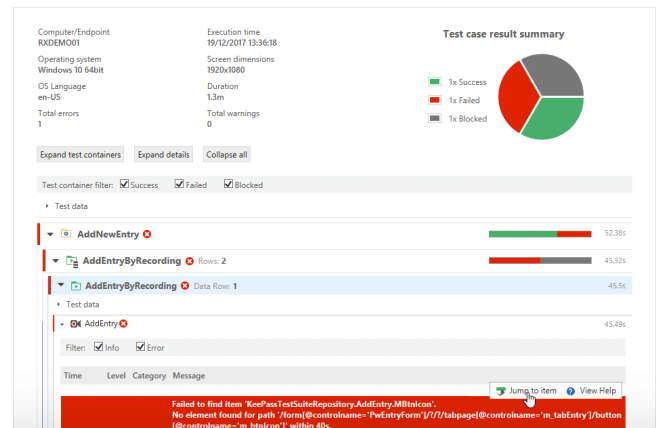


Fig. 7. An example Ranorex Studio test report

Sahi Pro (or informally Sahi) is a tool designed to solve the everyday problems faced by testers. Sahi is uniquely tester-centric in its design and functionality. It can be used on all browsers on all operating systems for desktop, mobile, and web testing. While it can be integrated with many other tools, it is an efficient tool for different testing types. An example Sahi Pro test report is given in Fig. 8 (SahiPro, 2020).

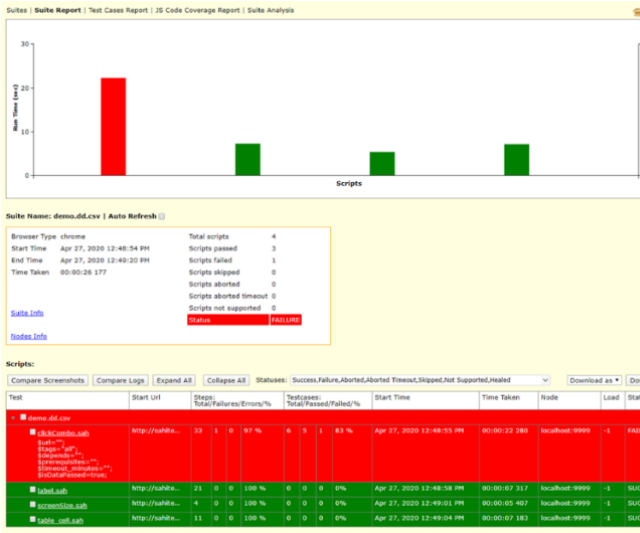


Fig. 8. An example Sahi Pro test report

Selenium, which is the first tool that comes to people's minds when anyone is talking about web-based automated tools, was first developed in 2004. Selenium is a popular web application tool that supports different types of software tests. It is a sophisticated tool composed of several components that have specific roles in helping in the development of web applications. Not all of them are used together; most of the Selenium Quality Assurance engineers focus on one or two tools for their projects. Selenium is a widely used web-based automated tool because it supports various platforms, operating systems, programming languages, and browsers. However, Selenium is used to test web applications only; it does not have any ability to test desktop-based applications, mobile applications, or any other software. It does not offer a native reporting facility, one of the most important disadvantages of the tool. An example Selenium test report is given in Fig. 9 (Selenium, 2020).

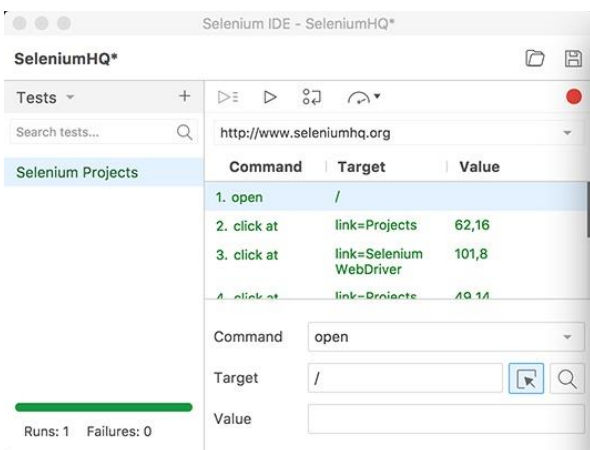


Fig. 9. An example Selenium test report

Telerik Test Studio is a Windows-based automated tool for different types of applications. It empowers the users to quickly and easily craft automated tests, integrate them in CI/CD (Continuous Integration/Continuous Delivery) environment following the workflow, find defects earlier, and ship a better quality software product. It can perform various testing types, such as functional testing, performance testing, load testing, and mobile testing. An example Telerik Test Studio test report is given in Fig. 10 (Telerik Studio, 2021).

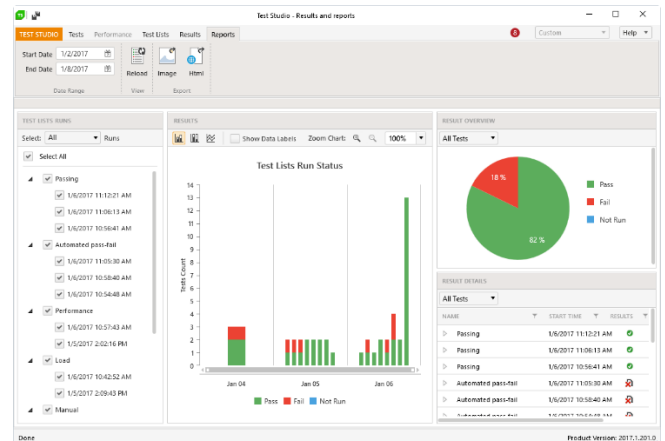


Fig. 10. An example Telerik Test Studio test report

TestComplete is a functional automated testing platform developed in 1999. TestComplete contains three significant modules, which are mobile, web, and desktop testing, and each of the modules contains its functionality for creating automated tests. TestComplete is an easy, reliable, fast tool that has a capable supporting team. An example TestComplete test report is given in Fig. 11 (TestComplete, 2021).

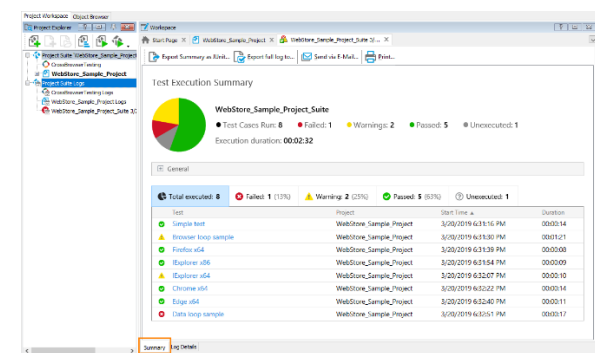


Fig. 11. An example TestComplete test report

TestIO is another web testing tool that is used generally for crowd-testing. It can remove quality assurance bottlenecks with flexible testing, enable one to expand one coverage to hundreds of platforms and devices and ensure one of the professional testers has unbiased eyes

on the product. It has high compatibility with devices, browsers, and platforms. An example TestIO test report is given in Fig. 12 (TestIO, 2022).

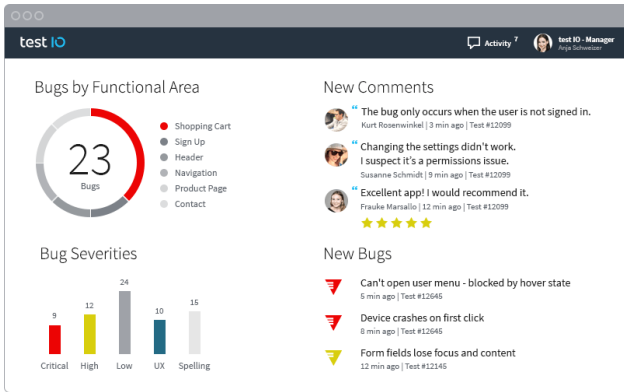


Fig. 12. An example TestIO test report

TestingWhiz supports various testing types such as mobile testing, regression testing, data-driven testing, database testing, big bang testing, and so on. TestingWhiz is very easy to use for both large and small applications. It has intelligent and reusable recording techniques while testing. Also, the test commands applied by the tool are usable even to users who have no coding skills to optimize testing workloads and boost the efficiency of the automation projects. However, the tool is not provided for free; it is subscription-based, which is readily available on request, and it cannot thoroughly scan a web application. An example TestingWhiz test report is given in Fig. 13 (TestingWhiz, 2022).

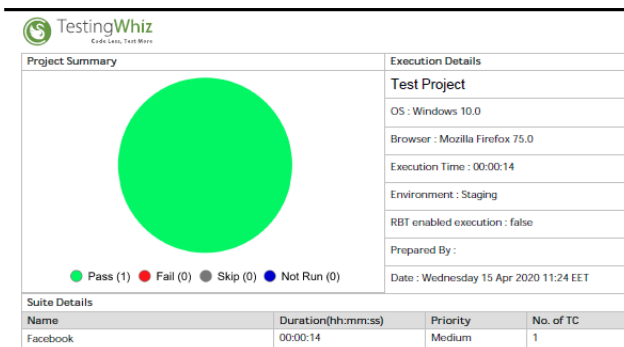


Fig. 13. An example TestingWhiz test report

Webload, which was developed in 1997, is one of the testing tools which are specially used for load/performance testing. There is a long period between the first and second versions of Webload. The second and third versions were presented in 2010, and after that, new versions were developed continuously. Webload supports many integration tools, browsers, platforms, and also cloud applications. With Webload, a tester can pinpoint issues and the bottlenecks which may

stand in the way of achieving one load response requirement. An example Webload test report is given in Fig. 14 (Webload, 2021).

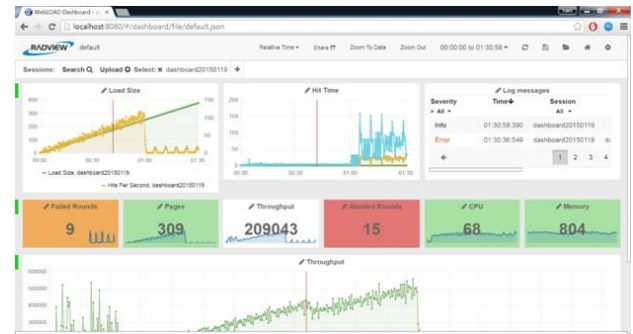


Fig. 14. An example Webload test report

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this section, a comparison of the web-based automated tools according to various criteria has been performed. The tools were compared according to 20 different features. These features are gathered in 5 separate tables according to their relevance to facilitate the comparisons. The comparisons were made by examining each tool's official website, the related studies and tutorials in the literature, and our test simulations. For this study, many sample tests have been carried out such as implementing tests operations on Facebook by using Selenium, TestingWhiz, and Webload, using sample university websites with JMeter, TestingWhiz and Webload, shopping on sample shopping sites with JMeter, TestingWhiz, and Katalon Studio, comparing Facebook and Twitter, Google, Yahoo and Yandex with JMeter and some other test simulations. The tools are classified according to their general characteristics in Table 2, requirements in Table 3, technical compatibility in Table 4, testing properties in Table 5, and technical supports in Table 6. For each comparison table, the features and the values of attributes are briefly discussed.

3.1. Analysis of General Properties

General Properties refer to the properties of a tool that come to mind in the first place. These features are the Testing Style, Open Sourced/Licensed, Cost, and Stable Release. The features discussed in this section are described below.

“Testing style” explains how automation software does the test. It can take values in the form of API Testing, Desktop Testing, Mobile Testing, Web Testing, and combinations thereof. Open-sourced/Licensed indicates whether the tool has a license or not. Tools with free versions of open source, licensed for later versions, are

also specified. This feature is important because it handles both open-source and licensed tools, unlike other literature studies. "Cost" is a numerical value that expresses the price of the tool. The intermediaries' fees may be specified in different ways, such as daily, monthly, or 1-time purchases. "Stable release" means the most recently updated version of a tool and is

expected to be recent for the tool to be used. Since software engineering is a continually evolving field, software varies and changes over time, and also different necessities may occur for other software. In this respect, a tool needs to update tools frequently and meet the changing software needs.

Table 2. Comparison of web-based automated tools according to general properties

	Testing Style	Open-sourced/Licensed	Cost	Stable release
Acunetix	Web Testing	Licensed	Customizing according to customer necessities	-
FitNesse	Web Testing	Open Sourced	Free	April 2019
JMeter	Mobile Testing, Web Testing	Open Sourced	Free	November 2019
Katalon Studio	API Testing, Desktop Testing, Mobile Testing, Web Testing	Katalon Studio (Open Sourced) Katalon Studio Enterprise (Licensed) Katalon Runtime Engine (Licensed)	Katalon Studio (Free) Business technical support (\$2,500 per year) Enterprise technical support (\$5,500 per year) Enterprise Premium technical support (customizable price)	October 2019
LoadRunner	Desktop Testing, Web Testing	Licensed	50 virtual user licenses (free) More virtual users (\$1,40 per day)	2020
QTP (HP UFT)	Desktop Testing, Web Testing	Licensed	Trial (Free) Runtime Engine (\$2,300 per year) Uft One (\$3,200 per year) Volume Pricing (Customizing according to customer necessities)	July 2019
Ranorex Studio	Desktop Testing, Mobile Testing, Web Testing,	Licensed	Trial (Free) Runtime License Floating (\$890) Premium Node-Locked (\$2,990) Premium Floating (\$4,990)	October 2019
Sahi Pro	Desktop Testing, Mobile Testing, Web Testing	Licensed	Trial (Free) Sahi Pro (\$695 per year)	-
Selenium	Web Testing	Open Sourced	Free	2018
Telerik Test Studio	Desktop Testing, Mobile Testing, Web Testing	Licensed	Test Studio Web & Desktop (\$2,499 per year) Test Studio Ultimate (\$3,499 per year)	June 2019
TestComplete	Desktop Testing, Web Testing	Licensed	Trial (Free) TestComplete Base (Euro 5,170) TestComplete Pro (Euro 8,023) TeamSuite Bundle (Customizing according to customer necessities)	June 2019
TestIO	Web Testing	Licensed	Available on request	-
TestingWhiz	Desktop Testing Web Testing	Licensed	Available on request	-
Webload	Web Testing	Licensed	Available on request	February 2016

As shown in Table 2, while some tools have only one unique test style (web testing or desktop testing), some other tools consist of a combination of tests and have many test styles such as API Testing, Desktop Testing, Mobile Testing, and Web Testing. This feature has of great importance in the selection of the tool. For a tool to be used on an application, it must have a structure suitable for that application. As shown from the table, only three tools within 14 tools are entirely open-source and free. The remaining licensed vehicles have considerably higher fees. While specific versions or trial versions of some tools are free, a professional version must be paid for. While the prices of some tools are

specified as daily or monthly, the fees of some other tools or some versions can be customized according to customer demands. This is an essential criterion regarding the selection of the tool. This table shows that different market tools for companies seeking professional support, individual nonprofessional users, and actors with different roles state that each of these actors can find a suitable tool according to their needs. When the stable release features are examined for the tools, it is seen that all of them are updated frequently, and in this respect, it can be stated that all tools can meet the changing software needs.

3.2. Analysis of Requirements

In this section, the required features for a tool to be used efficiently are discussed. Since the most crucial feature for the efficient use of a tool is the hardware requirements, both CPU and RAM requirements are presented. Besides, it is another matter to consider whether any programming knowledge is required to use a tool. The features discussed in this section are described below. “Hardware requirement (CPU)”

expresses the minimum CPU features required to use the tool. CPU speed and other features are given in this feature. “Hardware requirement (RAM)” referred to the minimum and recommended RAM amounts (if detected) required to use the tool. “User experience requirement” indicates whether user experience is necessary for the use of the tool or not. It can take two values “Easy to use” (can be used without any knowledge) or Requires some programming skills.

Table 3. Comparison of web-based automated tools according to requirements

	Hardware requirement (CPU)	Hardware requirement (RAM)	User experience requirement
Acunetix	64-bit any processor	Minimum: 2 GB	Easy to use
FitNesse	-	-	Easy to use
JMeter	Multicore CPU with four or more cores	Minimum: 16 GB	Requires some programming skills
Katalon Studio	1 GHz, 32-bit (x86) or 64-bit (x64) processor or higher	Minimum: 1 GB (for 32-bit) 2 GB (for 64-bit)	Easy to use
LoadRunner	Intel Core, Pentium, Xeon, AMD or compatible Speed: 1.6 GHz or higher	Minimum: 2 GB Recommended: 4 GB	Requires some programming skills
QTP (HP UFT)	1.6 GHz or higher	Minimum: 2 GB when no more than three add-ins are loaded simultaneously.	Easy to use
Ranorex Studio	2 GHz dual-core or higher	Minimum: 1 GB	Easy to use
Sahi Pro	-	Minimum: 1.5 GB	Requires some programming skills
Selenium	4x Dual-core AMD Opteron or higher	Minimum: 4 GB	Requires some programming skills
Telerik Test Studio	x86 or x64 1 GHz Pentium processor or higher	Minimum: 1 GB Recommended: 2 GB	Easy to use
TestComplete	Intel Core i5 or Intel Core i7 (the 3rd generation) or higher	Minimum: 8 GB	Easy to use.
TestIO	800 MHz or higher	Minimum: 4 GB	Easy to use
TestingWhiz	Intel Pentium 4 or higher	Minimum: 4 GB Recommended: 8 GB	Requires some programming skills
Webload	IBM-compatible PC (x86-32) with Pentium III 800 MHz or higher	Minimum: 1 GB Recommended: 4 GB	Easy to use

Table 3 presents a comparison of the web-based automated tools according to hardware and user experience requirements. It has all the information for all tools except FitNesse and Sahi Pro tools. Although the criteria in this table do not directly affect the tool's selection, it provides information on whether the currently selected tool can be used or not and what requirements must be met for the tool before it is used. For example, it would be beneficial for a new user to start the test process with the FitNesse tool in terms of being both open source and free and easy to use. However, FitNesse only performs web testing and cannot be used for mobile testing. Also, since there is no full information about the CPU configuration it requires, there may be a compatibility problem with the hardware to be tested. Table 3 also indicates that the tools usually need high CPUs and RAMs. This situation can be stated as the fact that at least one other software is running while the tools are running, various data operations are performed, and reports are generated on the software. JMeter needs a higher memory than other tools because

it is cross-platform; it supports all browsers and IDEs that support Java; in other words, it has high compatibility. One of the first actions to be taken after deciding to use a tool is to provide the tool's requirements. As it is seen, while some tools are easy to use, the user should have specific programming knowledge in some popular and frequently used tools such as Selenium. In other words, it is not enough for testers to know and apply the test cases and test scenarios; they need to write these cases and procedures and make changes if necessary.

3.3. Analysis of Technical Compatibility

In this section, programming languages, platforms, browsers, and IDEs supported by tools are discussed. The feature that maximizes an automation tool's usability can be considered compatibility because it provides a tool for many projects. The features discussed in this section are described below.

“Language compatibility” expresses which programming languages the tool can test on applications.

“Platform compatibility” determines the operating systems and other platforms on which the tool can

operate. “Browser compatibility” expresses the lowest level of web browsers that the tool can work with. “IDE compatibility” gives the IDEs supported by the tool.

Table 4. Comparison of web-based automated tools according to technical compatibility

	Language Compatibility	Platform Compatibility	Browser Compatibility	IDE Compatibility
Acunetix	CSS, HTML, Java, JavaScript, .NET, Node.js., PHP	Web-based environments	Any browser	-
FitNesse	C++, C#, Delphi, Python, Ruby	Cross-platform	Any browser	Maven or Ivy in Eclipse
JMeter	-	Cross-platform	Any browser	All IDEs which support Java
Katalon Studio	Java/Groovy	Windows 7, 8, 10, MacOS 10.11+, Linux (Ubuntu-based)	Any browser	Java, Android SDK, Web drivers
LoadRunner	C#, Java, JavaScript, VB, VBScript	Windows 7 (SP1) 32/64 bit, 8 64 bit, Windows Server 2012 64 bit, R2 (SP1) 64 bit	Any browser	-
QTP (HP UFT)	VBScript	Windows 7 32/64 bits, Windows 7 (SP1) 32/64 bits	IE 6,7,8,10, Firefox 3.0 and later, Google Chrome	Its IDE
Ranorex Studio	No specific scripting language (it is written in .NET using C hash, Iron python, and VB.net)	Windows 2000, XP, Vista, 7, Windows Server 2003, 2008	Any browser	Its IDE
Sahi Pro	JavaScript	Cross-platform	Any browser	Selenium IDE
Selenium	C#, Java, JavaScript, Perl, PHP, Python, R, Ruby	Windows, macOS X, Linux	All major browsers	All IDEs which support Java
Telerik Test Studio	AJAX, Angular, HTML, MVC, Silverlight, WPF	Windows 7, 8, 10, Windows Server 2008, 2012	Internet Explorer, Microsoft Edge, Firefox, Google Chrome, Opera, Safari	Visual Studio IDE
TestComplete	C++, C#, DelphiScript, JavaScript, Jscript, Python, VBScript	Windows 7 (SP1), 8, 8.1, 10, Windows Server 2008 R2, 2012, 2012 R2, 2016, 2019	IE, Firefox, Google Chrome	Its IDE
TestIO	-	Web-based environments	Any browser	-
TestingWhiz	-	Windows	Any browser	Its IDE
Webload	JavaScript	Windows, Linux	Any browser	Its IDE

The values in this table are related to the technical features of the tool. Programming language compatibility means which programming language can test on applications written, a fundamental selection criterion. While some tools support only one language (JavaScript, VBScript) in this regard, some tools increase the probability of being used because they support many languages (C ++, C #, DelphiScript, JavaScript, Jscript, Python, VBScript, and so on). Another one of the most critical factors affecting the selection of the tool is platform compatibility. While researching this feature, it is observed that some tools work on only one system (usually Windows), and some tools work on cross-platforms. In some tools, only the name of the operating system is included, while in some tools, it is possible to get information about the platforms' versions. A remarkable point here is that the tools usually do not work in the MAC OS operating system. Accordingly, the testers who should work with this system should make the selection only among many tools.

Since the tools examined in this study are web-based tools, there is generally no restriction in the browser support section. In other words, the tools mostly work in all browsers. However, in some tools such as QTP, browsers are expected to be higher than a specific version. Looking at Table 4, it is seen that the tools either use existing IDEs or create their unique IDEs. The limitation here is to consider compatibility issues when using tools that use current IDEs. For example, IDE used in tools such as JMeter and Selenium is expected to have Java support.

3.4. Analysis of Testing Properties

In this section, the features of the test process, which is the main function of the tools, are discussed. The features discussed in this section are described below. “Other tools support for integration” refers to other tools that the tool can work with. “Testing type” describes the tests that the tool performs. There are areas where each of them specializes. Some tools focus on security like

penetration and vulnerability, while others are concerned with tests such as load, stress, and performance. This feature generally indicates which tests a test tool can perform best. “Test result

generation” expresses how the results of the test will be reported. In other words, it can be described as the format of the reports obtained.

Table 5. Comparison of web-based automated tools according to testing properties

	Other tools support integration	Testing type	Test result generation
Acunetix	GitHub, FortiWeb, Imperva, Jenkins, Jira, SecureSphere	Penetration, Vulnerability, Web, Security	HTML, PDF
FitNesse	-	Acceptance	-
JMeter	BlazeMeter, Dynatrace, Jenkins, Meliora, TestLab, Visual Studio	Load, Performance, Stress	CSV, HTML
Katalon Studio	Azure DevOps, Bamboo, CircleCI, Jenkins, Jira, qTest, TestLink, TestRail, TeamCity, Travis CI, Microsoft Teams	API, Mobile, Web	CSV, HTML, PDF
LoadRunner	-	Load, Performance	-
QTP (HP UFT)	CollabNet, iRise, Jira, Kovair, TeamForge, TestComplete, ServiceNow	API, Business Process, GUI	HTML
Ranorex Studio	Azure DevOps, Bamboo, Hudson, Jenkins, Team City	Data-Driven, GUI, Keyword-Driven, Quality Assurance, Regression	HTML, XML
Sahi Pro	Bamboo, Jenkins, Selenium, or any CI tool	Agile, Functionality, Load, Performance	XSL
Selenium	Can be integrated with many prices or free tools	Data-Driven, GUI, Keyword, Regression, Unit, Web	No reports
Telerik Test Studio	Bamboo, Jenkins, Jira, TeamCity, TFS	Load, Functional, Performance, Restful	Junit, XML
TestComplete	Bamboo, Jenkins, Jira, QAComplete, Selenium, Team Foundation Server	Coverage, Data-Driven, GUI, Keyword, Load, Mobile, Regression, Unit, Web	HTML, Junit, PDF, XML
TestIO	GitHub, Jira, Redmine, Trello	Beta, Exploratory, Regression, Usability	CSV, XLS
TestingWhiz	Bamboo, Jenkins	Cross-Browser, Database, Data-Driven, Mobile, Regression, Web	CSV, XLS
Webload	Amazon Web Services, Jenkins, Selenium	Capacity, Load, Stress, Soak	CSV, DOC, HTML, JUnit, ODT, PDF, RTF, XLS, XLSX

When looking at Table 5, it is seen that other tools that support integration information were not available for FitNesse and Load Runner. When looking at other tools, it is generally found that Bamboo, Jenkins, and Jira are common in all; apart from these, it can be seen that they can be integrated with many tools. One of the issues to be considered here is that SAHI, TestComplete, and Webload tools can be combined with Selenium. Apart from these, Selenium stands out in this feature as it can work integrated with many different tools, free or licensed except these tools.

Perhaps the most critical factor in choosing a testing tool is the types of tests it can perform. As it is known, not every tool can perform all kinds of tests. While some tools focus on security, some tools focus on performance balls and derivatives, and some tools deal with different types of tests. From Table 5, it is seen that Acunetix performs security tests; JMeter, Load Runner, SAHI, Telerik, and WebLoad perform tests, FitNesse performs acceptance tests, and other tools perform different types of tests. Accordingly, it is essential to choose a tool according to the test type to be performed on the application.

The reports obtained from the tests are not a direct criterion for selecting the tool, but it is a feature that can help to use the tool efficiently. It is seen that all of the tools support standard formats such as CSV, HTML, XML, and PDF, except for some tools that do not have information about the test report. Apart from that, it is seen that Telerik, TestComplete, and Webload also support the Junit format, and Webload has quite a lot of options regarding the test report. One of the surprising results of this feature is that there is no report support in Selenium, which is the first tool that many people think of when it comes to web-based automation tools. Selenium, which has been ahead of other tools in many respects, has become the most left-behind tool in this feature.

3.5. Analysis of Technical Support

In this section, the part's features of the technical support available for free or paid tools are discussed. These are essential points that ensure the continuity of the tool. The features discussed in this section are described below.

“Customer support” expresses whether the tool gives supporting the customers using it. It refers to a general

situation and takes one of the values—no professional support, Limited, Free Communities, and Dedicated. “Documentation titles” refers to the documentation titles on the official website of the tools. This feature can also be thought of as information someone can easily find on the tool’s website. “Articles” gives the various articles on the official website of the tools. Although it does not have a format, it is evaluated in two categories: A limited number of articles and A large number of well-

organized articles. Forums indicate whether there is a forum on the tool's website or not. It does not have a specific format; it gives general information about the forum's presence/absence and its features. The technical staff provides available information about whether there is a technical staff supporting the tools or not. “Bug tracking” expresses whether there is a bug tracking feature in the tool or not, and if so, what operations this feature does.

Table 6. Comparison of web-based automated tools according to technical support

	Customer support	Documentation titles	Articles	Blog	Technical support	staff	Bug tracking
Acunetix	Dedicated	Case Studies, Support, Videos, Web Vulnerabilities, Webinars, Whitepapers and subtitles	A limited number of articles	An active blog with many posts	24/7 technical support	online staff	Assigning identified vulnerabilities
FitNesse	-	Features, Download Plug-ins, User Guide	A limited number of articles	No blogs	-	-	No bug tracking
JMeter	Free Communities	Get Started, User Manual, Best Practices, Component Reference, Functions Reference, Properties Reference, Change History, Javadocs, JMeter Wiki, FAQ Wiki and subtitles	-	An active blog with many posts	-	-	Creating a bug report and listing the bug logs quickly.
Katalon Studio	Dedicated	Products, Pricing, Support The company, Download Now, Sign In and subtitles	A limited number of articles	An active blog with many posts	4/7 technical support	online staff	No bug tracking
LoadRunner	Limited	Resources, Pricing, Contact Us, Education Central, Free Trial	-	No blog	-	-	No bug tracking
QTP (HP UFT)	Dedicated	Well-organized – considerable documentation with subtitles	A large number of well-organized articles	An active blog with many posts	24/7 technical support	online staff	No bug tracking
Ranorex Studio	Dedicated	Products, Solutions, Webinars, Support, Company Blog	A large number of well-organized articles	An active blog with many posts	24/7 technical support	online staff	No bug tracking
Sahi Pro	Limited	Home, Features, Services, Pricing, Try for Free	A limited number of articles	No blog	-	-	No bug tracking
Selenium	No professional support	About, Downloads, Projects, Documentation, Support, Blog	-	An active blog with many posts	-	-	Determining new bugs or checking the status of an existing one
Telerik Test Studio	Dedicated	Demos, Pricing, Blogs, Docs & Support, Search	A limited number of articles	An active blog with many posts	-	-	Determining new bugs
TestComplete	Dedicated	Features, Use Cases, Integrations, Resources Pricing, Start my Free Trial	A large number of well-organized articles	A general blog	24/7 technical support	online staff	No bug tracking
TestIO	Dedicated	Product, Testing Solutions, Customers, Pricing, Resources and subtitles	A limited number of articles	An active blog with many posts	24/7 technical support	online staff	No bug tracking
TestingWhiz	Dedicated	Solutions, Features, Integrations, Pricing, Resources, Blog, Company and subtitles	A large number of well-organized articles	An active blog with many posts	24/7 technical support	online staff	No bug tracking
Webload	Dedicated	Solutions, Features, Resources, Blog, Pricing and subtitles	A large number of well-organized articles	A general blog	24/7 technical support	online staff	No bug tracking

The features in this table have not been dealt with in any previous studies in the literature. This is one of the original features of this publication. The disadvantageous aspect of this table's features is that it

does not have a numerical or deterministic value, and it is tried to be tabulated with verbal expressions. Therefore, it is a little more subjective than other tables. Also, when compared to other tables, it is seen that the

most missing information is also here. For example, sufficient information about Load Runner for many features could not be obtained.

When the table is examined, it is seen that there is limited customer support for some tools and support in the form of free communities for JMeter, it is not possible to obtain customer support information for FitNesse, and there is no professional support for Selenium. Since one of the most detailed information about the test tools can be brought is the websites, the websites' documentation titles also provide information about the tool's support. In general, it is seen that many tools have detailed menus and subtitles, and some tools have only main titles, but as a result, it is understood that there is sufficient documentation information in each tool.

Another feature examined in this table is whether there is a blog on a tool's website or not. A blog, an area where both the manufacturers and users of the tools share their experiences, can sometimes be an effective problem-solving method. It is seen that there is a blog system in all tools except FitNesse, LoadRunner, and SAHI. In terms of a tool, technical staff support is also of great importance. It is a facilitating aspect for the user that there is active technical support, especially for the users who are not experienced in the test automation process. Online 24/7 technical support is provided in Acunetix, Katalon Studio, QTP (HP UFT), Ranorex, TestComplete, TestIO, TestingWhiz, and Webload tools. This technical support can be provided by phone, e-mail, website, or in different ways. No information on the technical support of other teams has been obtained. The last feature examined in this table, and this study is bug tracking. This feature, which means following and monitoring the bugs brought with a tool, is a feature that can provide statistical benefit, especially in the long-term use of the tool. However, there is a bug tracking feature only for Acunetix, JMeter, Selenium, and Telerik Test Studio. These bug tracking structures assign identified vulnerabilities as tasks to team members for remediation, create a bug report and list the bug logs quickly, determine new bugs, and check the status of an existing one.

4. CONCLUSION

Automated software testing is one of the most useful and popular aspects of the software testing process. Automated software testing tools provide some advantages to the users, such as performing the test process quickly, trying as many test cases as possible,

and performing significant data operations. They are also used to measure some essential software metrics such as security, vulnerability, efficiency, performance, load, stress, and so on. Especially for web-based applications, automated software testing tools have a critical role. Since the number and type of automated tools are evolving and expanding today, compatible programming languages, operating systems, and browsers are also continually increasing and provide many options for those interested in software testing. Although this is advantageous, it can be a disadvantage if the right tool cannot be selected because every tool has different features and may not provide a useful test for every software. In this respect, a tester should decide the tool that best tests the application he/she will try. This selection process takes place not only by software features but also by many different criteria. These criteria can be related to the application's features to be used, financial conditions, technical support, or any other thing. The more we know about the tools, the more comfortable we choose the most appropriate one. For this reason, there are many studies in the literature comparing software testing tools.

This study has a wide-ranging analysis feature that addresses more tools and more criteria than previous tool comparison papers in the literature. The 14 free or paid tools discussed in this study, according to 20 different standards, are Acunetix, FitNesse, JMeter, Katalon Studio, LoadRunner, QTP (HP UFT), Ranorex, Sahi Pro, Selenium, Telerik Test Studio, TestComplete, TestIO, TestingWhiz, and Webload and the criteria are general properties (Testing style, Open-sourced/Licensed, Cost, Stable release); requirements (Hardware requirement (CPU), Hardware requirement (RAM), User experience requirement); technical compatibility (Language compatibility, Platform compatibility, Browser compatibility, IDE compatibility); testing properties (Other tools support for integration, Testing type, Test result generation) and technical support (Customer support, Documentation titles, Articles, Blog, Technical staff support, bug tracking). After all these reviews, the following results were obtained:

- If the vulnerability metric of the software will be explicitly measured; Acunetix,
- If there is a necessity for an open-sourced tool specializing in web testing only; FitNesse,
- If a tester with knowledge of programming will test different platforms, IDEs, and browsers on an environment with high hardware features; Jmeter,

- If test operations will be performed on APIs; Katalon Studio,
- If the software's metrics such as load, stress, and performance will be explicitly measured by a tester with knowledge of programming; LoadRunner,
- If testing will be done on an environment with high hardware features and an application written in VBScript and if the tool is required to use its IDE; QTP,
- If testing is done on the desktop, mobile, and web applications at the same time and the used programming languages are also various; Ranorex Studio,
- If there is a necessity for the testing report of type XSL, or if testing will be done using the current Selenium IDE; Sahi Pro,
- If testing is done on a hybrid project by a tester with knowledge of programming using different tools and the test reports are not necessary; Selenium,
- If different test types such as Load Testing, Functional Testing, Performance Testing, and Restful Testing will be performed and a bug tracking mechanism is needed to detect new errors; Telerik Test Studio,
- If different tests such as Coverage Testing, Data-Driven Testing, GUI Testing, Keyword Testing, Load Testing, Mobile Testing, Regression Testing, Unit Testing, and Web Testing should be applied to the same project; TestComplete,
- If a tool is required to be integrated with specialized tools such as Redmine or Trello and to perform usability testing; TestIO,
- If a database test is to be performed on a Windows-based system and good technical support is needed; TestingWhiz,
- If the software's metrics, such as load, stress, and performance, are to be measured, Webload would be the most appropriate tool.

In general, the result obtained from this study can be summarized as no tool is better than others. The suitability of a tool for a project depends on various criteria in the test process.

REFERENCES

- Abbas, R., Sultan, Z., & Bhatti, S. N. (2017). Comparative Analysis of Automated Load Testing Tools: Apache JMeter, Microsoft Visual Studio (TFS), LoadRunner, Siege. *International Conference on Communication Technologies*.
- Acunetix, <https://www.acunetix.com>, Retrieved 13 April 2020.
- Al-Zain, S., Eleyan, D. & Hassouneh, Y. (2013). Comparing GUI Automation Testing Tools for Dynamic Web Applications. *Asian Journal of Computer and Information Systems*, 1, 38–48.
- Angmo, R., & Sharma, M. (2014). Performance Evaluation of Web Based Automation Testing Tools. *International Conference-Confluence The Next Generation Information Technology Summit*.
- Bertolino, A. (2007). Software testing research: Achievements, challenges, dreams. *Future of Software Engineering Conference*.
- Bharti, T., & Dutt, E. V. (2014). Relative Review of Automated Testing Tools: (QTP) Quick Test Professional, Selenium and Test Complete. *International Journal of Computer Science Trends and Technology*, 2, 110–114.
- Bindal, P., & Gupta, S. (2014). Test Automation Selenium WebDriver using TestNG. *Journal of Engineering Computers and Applied Sciences*, 3, 18–40.
- Catelani, M., Ciani, L., Scarano, V.L., & Bacioccola, A. (2011). Software automated testing: A solution to maximize the test plan coverage and to increase software reliability and quality in use. *Computer Standards and Interfaces*, 33, 152–158.
- Chandel, V., Patial, S., & Guleria, S. (2013). Comparative Study of Testing Tools: Apache JMeter and Load Runner. *International Journal of Computing and Corporate Research*. 3, 1–17.
- Daud, N. I., Bakar, K. A. A., & Hasan, M. S. M. (2014). A Case Study on Web Application Vulnerability Scanning Tools. *Science and Information Conference*.

- Dubey, N., & Shiwani, S. (2014). Studying and Comparing Automated Testing Tools; Ranorex and TestComplete. *International Journal Of Engineering And Computer Science*, 3, 5916–5923.
- Dukes, L., Yuan, X., & Akowuah, F. (2013). A case study on web application security testing with tools and manual testing. *IEEE Southeastcon*.
- Elbaum, S., Karre, S. & Rothermel, G. (2003). Improving web application testing with user session data. *International Conference on Software Engineering*.
- Falah, B., Akour, M., & El Marchoum, N. (2015). Testing patterns in action: Designing a test pattern-based suite. *International Review on Computers and Software*, 10, 489–494.
- FitNesse, <http://docs.fitnessse.org/FrontPage>, Retrieved 15 April 2020.
- Gogna, N. (2014). Study of Browser-Based Automated Test Tools WATIR and Selenium. *International Journal of Information and Education Technology*, 4, 336–339.
- Gogna, N., & Kumari, R. (2011). Comparative Study of Browser Of Browser Based Open Source Testing Tools WATIR And WET. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3, 1910–1923.
- Gupta, S., Kumar, S., & Saxena, C. (2015). Review Paper on Comparison of Automation Testing Tools Selenium and QTP. *MIT International Journal of Computer Science and Information Technology*, 5, 55–57.
- Hedayati, A., Ebrahimzadeh, M., & Sori, A. A. (2015). Investigating Automated Test Patterns in Erratic Tests by Considering Complex Objects. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 7, 54–59.
- Jain, V., & Rajnish, K. (2018). Comparative Study of Software Automation Testing Tools: OpenScript and Selenium. *International Journal of Engineering Research and Application*, 8, 29–33.
- JMeter, <https://jmeter.apache.org>, Retrieved 5 April 2020.
- Kakaraparth, D. (2017). Overview And Analysis Of Automated Testing Tools: Ranorex, Test Complete, Selenium. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4, 1575–1579.
- Katalon Studio, <https://www.katalon.com>, Retrieved 1 April 2020.
- Kaur, H., & Gupta, G. (2013). Comparative Study of Automated Testing Tools: Selenium, Quick Test Professional and Testcomplete. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3, 1739–1743.
- Kaur, M., & Kumari, R. (2011). Comparative Study of Automated Testing Tools: TestComplete and QuickTest Pro. *International Journal of Computer Applications*, 24, 1–7.
- Kaur, P. (2021). Comparison of Automation Testing Tools for Regression Testing website, *International Journal of Innovative Science. Engineering & Technology*, 8, 259–265.
- Križanić, J., Grgurić, A., Mošmondor, M., & Lazarevski, P. (2010). Load testing and performance monitoring tools in use with AJAX based web applications. *International Convention on Information and Communication Technology, Electronics, and Microelectronics*.
- Kundu, S. (2012). Web Testing: Tool, Challenges, and Methods. *International Journal of Computer Science*, 9, 481–486.
- Kunte, P., & Mane, D. (2017). Automation Testing of Web-based application with Selenium and HP UFT (QTP). *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4, 2579–2583.
- LoadRunner, <https://www.microfocus.com/en-us/products/loadrunner-professional/overview>, Retrieved 3 May 2020.
- Mahmood, H., & Sirshar, M. (2017). A Case Study of Web Based Application by Analyzing Performance of a Testing Tool. *International Journal of Education and Management Engineering*, 7, 51–58.
- Masso, J., Pino, F. J., Pardo, C., García, F., & Piattini, M. (2020). Risk management in the software life cycle: A systematic literature review. *Computer Standards and Interfaces*, 71, 103431.

- Meenu, & Kumar, Y. (2015). Comparative Study of Automated Testing Tools: Selenium, SoapUI, HP Unified Functional Testing and Test Complete. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 2, 42–48.
- Monier, M., & El-Mahdy, M. M. (2015). Evaluation of automated web testing tools. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 4, 405–408.
- Patil, D. S., & Pawar, P. B. (2021). Selection Of Test Automation Tools for BFSI Sector Web Based Applications. *Natural Volatiles & Essential Oils*, 8, 10645–1065.
- Petukhov, A., & Kozlov, D. (2008). Detecting security vulnerabilities in web applications using dynamic analysis with penetration testing. *Application Security Conference*.
- Prasad, L., Yadav, R., & Vore, N. (2021). A Systematic Literature Review of Automated Software Testing Tool. *International Conference on Computing Informatics and Networks*, 101–123.
- Qasaimeh, M., Shamlawi, A., & Khairallah, T. (2018). Black Box Evaluation Of Web Application Scanners: Standards Mapping Approach. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 96, 4584–4596.
- QTP, <https://www.tutorialspoint.com/qtp>, Retrieved 10 May 2020.
- Radhakrishna, S., & Nachamai, M. (2017). Performance Inquisition of Web Services Using Soap UI and Jmeter. *IEEE International Conference on Current Trends in Advanced Computing*.
- Ranorex Studio, <https://www.ranorex.com>, Retrieved 12 May 2020.
- SahiPro, <https://sahipro.com>, Retrieved 2 May 2020.
- Selenium, <https://www.selenium.dev>, Retrieved 30 May 2020.
- Sharma, M., & Angmo, R. (2014). Web-based Automation Testing and Tools. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5, 908–912.
- Sharmila, S., & Ramadevi, E. (2014). Performance Evaluation and Comparison of Web Application Testing Tools: WAPT Pro and Apache Jmeter. *International Journal for Scientific Research and Development*, 2, 519–522.
- Singh, I., & Tarika, B. (2014). Comparative Analysis of Open Source Automated Software Testing Tools: Selenium, Sikuli and Watir. *International Journal of Information and Computation Technology*, 4, 1507–1518.
- Singh, J., & Sharma, M. (2015). Performance Evaluation and Comparison of Sahi Pro and Selenium Webdriver. *International Journal of Computer Applications*, 129, 23–26.
- Srivastava, N., Kumar, U., & Singh, P. (2021). Software and Performance Testing Tools. *Journal of Informatics Electrical and Electronics Engineering*, 2, 1–12.
- Telerik Studio, <https://www.telerik.com/teststudio>, Retrieved 7 September 2021.
- TestComplete, <https://smartbear.com/product/testcomplete/overview>, Retrieved May 3 2020.
- TestingWhiz, <https://www.testing-whiz.com>, Retrieved 12 May 2022.
- TestIO, <https://test.io>, Retrieved 1 May 2022.
- Webload, <https://www.radview.com>, Retrieved 3 October 2021.

TiO₂ Esaslı Fotokatalitik Yüzeyler: Mekanizma ve Uygulama Alanları

Erhan ÖZKAN*¹ 

¹Dikkan Group Arge Merkezi, İzmir, 35730, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 23.05.2023, Kabul Tarihi: 07.07.2023

Özet

Fotokataliz terimi ışık radyasyonu ile aktive olan reaksiyonları tanımlamaktadır. Günümüz endüstri dünyasında çevre kirliliğinin önemli bir sorun teşkil etmesi sebebiyle fotokataliz üzerinde yapılan araştırmalar gittikçe önem kazanmaktadır. Fotokatalitik yüzeylerin önemi anlaşıldıkça bu konu üzerine yapılan araştırmalar da artmıştır ancak TiO₂ kaplamaların UV ışığına ihtiyaç duyması pratik açıdan bazı zorluklar doğurmuştur. Çeşitli elementlerin TiO₂ yapısına ilavesi ile kaplamaların görünür ışıkta aktive olabileceği kanıtlanmıştır. Bu çalışmanın amacı; görünür ışık bölgesinde aktif olabilecek fotokatalitik TiO₂ kaplamaları sol-jel yöntemi kullanılarak üretmektir. Bu amaçla farklı oranlardaki demir elementi TiO₂ bünyesine eklenmiştir. Kaplama fazlarının fotoaktivite açısından önemli olması nedeniyle X-ışını difraktometresi (XRD) ile faz analizi yapıp, kaplamaların morfolojileri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Kaplama öncesi özellikler DTA/TG cihazı ile tespit edilmiş ve yüzey kaliteleri atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kontrol edilmiştir. Kaplamaların mor ötesi ve görünür ışık fotokatalitik aktivitesine etkisi metilen mavisinin bozunması ile saptanmıştır. Bu gözlemlerden yola çıkarak ilave demir elementinin TiO₂ bünyesine eklenmesi ile elde edilen kaplamaların fotokatalitik ve morfolojik özelliklerinin geliştiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotokataliz, Doplama, Sol-Jel, Titanyum Oksit.

TiO₂ Based Photocatalytic Surfaces: Mechanism and Application Areas

Abstract

The term photocatalysis describes reactions activated by light radiation. Research on photocatalysis is gaining more importance as environmental pollution poses a significant problem in today's industrial world. As the importance of photocatalytic surfaces has been understood, research on this subject has increased. Practically, the necessity of UV in order to create photocatalytic activity reveals difficulties. Related to these difficulties, addition some elements to the structure of TiO₂, of which photocatalytic activity under visible light has been proved with studies before, is preferred. The aim of this study is to produce photocatalytic TiO₂ coatings which can be activated under visible light by using sol-gel method. With this regard, Fe element was doped to TiO₂. Because coating phases are important owing to photoactivity, X-ray diffraction method is used to analyse phases and the morphologies of the coatings were analysed by scanning electron microscope (SEM). Pre-coated properties were investigated by using DTA/TG device and the surface qualities were observed by using atomic force microscope (AFM). The effect of the coatings on the ultraviolet and visible light photocatalytic activity was detected by the degradation of methylene blue. It was determined by evaluating these results that doped iron metal to the TiO₂ structure causing to improve of the photocatalytic and morphologic properties of the coatings.

Keywords: Photocatalysis, Doping, Sol-Gel, Titanium Oxide.

*Sorumlu yazar erhanozkan81@icloud.com

1. GİRİŞ

Doğal su kaynaklarının gittikçe azalması ve sınırlı sayıdaki kullanım suyunun endüstriyel ve çevresel atıklar sebebiyle kirlenmesi günümüzün ciddi sorunlarından bir tanesi haline gelmiştir (Bulut ve Birben, 2019). Su sterilizasyonunda kullanılan klor rahatsız edici bir koku yaymasının yanında uzaklaştırılmak istenilen maddelerle gerçekleştirdiği kimyasal reaksiyonun sonucu kansere yol açabilecek seviyede zararlı tri-halo-metan bileşiğinin oluşmasına neden olmaktadır (Özgür, 2021). Tri-halo-metan filtrasyon ve absorpsiyon yöntemleri ile uzaklaştırılmadığı için geri dönüşümü de oldukça güçtür (Özdoğan ve Özdemir, 2019).

Fotokatalizör, sistemde yer alan organik bileşiklerin parçalanması ile yukarıda bahsi geçen birçok sorunun çözümünde etkin bir yol olması ile gündeme gelmiştir (Akman ve arkadaşları, 2021). Fotokatalizörler, ultraviyole (UV) ışığın etkisi ile aktif hale gelen ve kuvvetli bir oksitleyici ortam oluşturan yarı iletken malzemelerdir (Altıntaş ve arkadaşları, 2019). Yüzeyle yapışmış halde bulunan bakteri ve organik bileşikler bu oksitleyici toz yardımıyla kolaylıkla ortamdaki uzaklaştırılabilmektedir (İzgi ve arkadaşları, 2020 ile Güner, 2023). Başka bir ifadeyle fotokatalizörler ışığın etkisi ile aktif hale gelen katalizörler olarak bilinmektedir. Işığın absorbe edilmesi ile daha yüksek bir enerji seviyesine gelerek enerjiyi reaktif malzemeye transfer ederler (Dalkılıç, 2022). Bu şekilde kimyasal bir tepkime başlar. Bir metal ve yarımetal alaşımı fotokatalizör olarak kullanılabilir. Başlarda Fe₂O₃ (Pamela, 2023) olmak üzere ZnO (Yaqoob, 2020), SrTiO₃ (Patil ve arkadaşları, 2020), GaAs (Zhang ve arkadaşları, 2022), GaP (Dewi, 2019), CdS (Liu ve arkadaşları, 2021) ve WO₃ (Dutta ve arkadaşları, 2021) yarıiletken fotokatalizörlere örnek olarak verilebilmektedir. Uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan fotokatalizör 3.2 eV enerji aralığındaki TiO₂'dir (Guo ve arkadaşları, 2019). Farklı uygulamalarda bu aralığın değiştirilebilmesi için Fe, Al, Cu, V, Pt, Cr, Ag ve nadir toprak elementleri katılmalarına dair uygulama örnekleriyle karşılaşılmıştır (Magdalane ve arkadaşları, 2021).

TiO₂ esaslı oksit filmler; kimyasal buhar biriktirme (Huang ve arkadaşları, 2021), fiziksel buhar biriktirme (Wang ve arkadaşları, 2020), moleküler ışın epitaksi (Vahl ve arkadaşları, 2019) gibi yüksek yatırım maliyetli ve ileri teknolojik ekipmanlar ile gerçekleştirilebilirken sol-jel tekniği ile daha düşük maliyetler ile de sentezlenebilmektedir. İnce film kaplamaların sentezlenmesinde sol-jel tekniğinin; kimyasal reaksiyonların kontrolünün mümkün olması, homojen bir yapı elde edilebilmesi, düşük sıcaklıklarda işlemlerin gerçekleştirilebilmesi, düşük enerji maliyetli olması ve üretildiği altlık ile reaksiyona girmemesi gibi avantajları bulunmaktadır ancak sol-jel yöntemi ile TiO₂ ince film üretmenin bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Pant ve arkadaşları, 2019). Titanyumalkoksitin çoğu alkol

içerisinde çözünmemesi, bu yöntemle üretilen ince filmlerin işçilik maliyetinin yüksek ve uzun zaman alması, sentezlenme esnasında yüksek büzülmenin gerçekleşmesi, mikro porozitelerin kaplamada yer alması, sağlığa zararlı organik çözücüler ile işlem yapılması bu dezavantajlardır (Mohammed, 2020).

Bu çalışmada, fotokatalitik bir yüzeyin elde edilmesi ve anti bakteriyel uygulamalarda kullanılması planlanan demir eklenmiş titanyumdioksit malzemenin cam yüzeylerde sol-jel yöntemi ile sentezlenmesi gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen kaplamaların mikro yapıları EDS ve XRD sonuçları baz alınarak fazlara göre gözlenmiş, termal ve yüzeye yapışma özellikleri araştırılmıştır. Titanyumalkoksit, isoproponal asetil aseton ile hazırlanan çözeltilerle cam altlık malzemeler üzerinde kaplamalar sentezlenmiştir. Bu kaplamaların faz analizleri XRD, termal analizleri DTA/TG, yüzey yapıları ise SEM ve AFM cihazlarından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, sol-jel yöntemiyle fotokatalitik özelliğe sahip demir katkılı titanyumdioksit kaplamalar başarıyla sentezlenerek anti bakteriyel uygulamalara yönelik bir ürün elde edilmiştir.

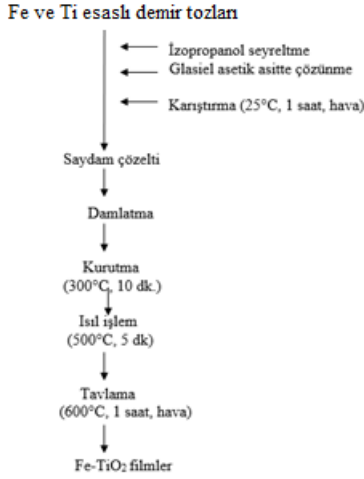
2. ANALİZ METODU

Fe katılmış TiO₂ filmleri hazırlamak için demir klorür (FeCl₃.6H₂O) ve Ti-isoprosit (Ti(C₁₂H₂₈O₄) kimyasalları ile işlem yapılmıştır. Toz haldeki FeCl₃.6H₂O'nin çözünmesi için propanol solventi kullanılmış olup, kompleksleşme reaksiyonları ve kimyasalların çözümünü sağlamak amacıyla glasiel asetik asit kullanılmıştır. Fe katılmış TiO₂ ince filmleri oluşturmak amacıyla kuvars camlar üzerinde sol-jel tekniğinden faydalanılmıştır.

Anti bakteriyel uygulamalarda kullanılmak üzere sol-jel tekniği ile kuvars camlar üzerine Fe-TiO₂ ince filmleri oluşturulmuştur. Şekil 1 bu metodun akış şemasını göstermektedir. Bu prosesin ilk aşamasında Fe ve Ti bazlı saydam çözeltiler hazırlanmıştır. Toz haldeki 0,12 gram demir klorür ve 1,5 ml titanyumalkoksit isoproponal solvent içerisinde çözüldürülmüştür. Fe/TiO₂ karışımlarının sağlanması için belirlenen 0,07, 0,18 ve 0,73 M'lık stokiometrik oranlarda hassas terazide tartılmış ve sonrasında behere alınmıştır. İsooproponal ile gerçekleşen çözünme sonrasında 10 ml "chelating agent" olarak adlandırılan glasiel asetik asit katalizör ve kompleksleşme reaksiyonlarını oluşturmak amacıyla elde edilen çözeltilere eklenmiştir. Elde edilen karışım 60 dakika karıştırılarak saydam çözeltiler elde edilmiştir. Bu amaca ulaşabilmek için isoproponal ve asetik asitin miktarları sabit tutulup;

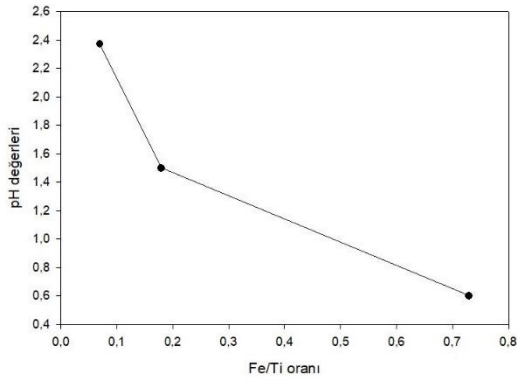
$$\frac{Fe}{Ti} = 0,07, \frac{Fe}{Ti} = 0,18,$$

$\frac{Fe}{Ti} = 0,73$ değerleri olacak şekilde çözeltiler hazırlanmıştır.



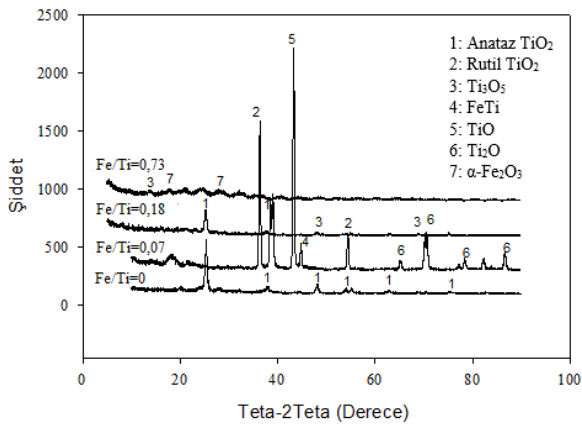
Şekil 1. Fe-TiO₂ Sol-Jel Film Sentezi Akış Şeması

Şekil 2'deki grafikte Mettler Toledo elektrod aracılığıyla ölçülmüş değişik Fe/Ti oranlarına sahip çözeltilerin pH değerleri verilmektedir.



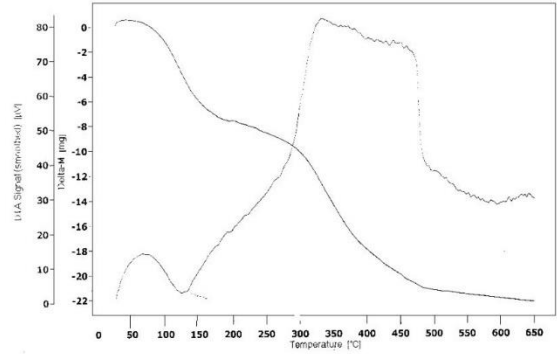
Şekil 2. Fe/Ti Oranlarına Bağlı Olarak Değişen Çözeltilerin pH Değerleri

Şekil 3, cam altlıklar üzerine üretilmiş Fe-TiO₂ ince filmlerin Philips Expert Pro marka cihazıyla gerçekleştirilen CuK_α ışınımı ($\lambda=0.15418$ nm) ile yapılan X ışınları difraksiyon paternlerini göstermektedir.



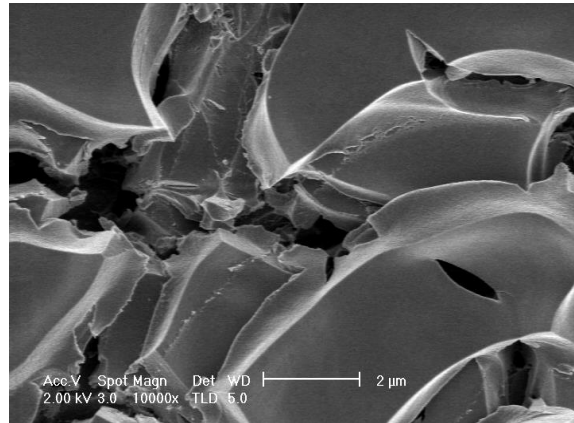
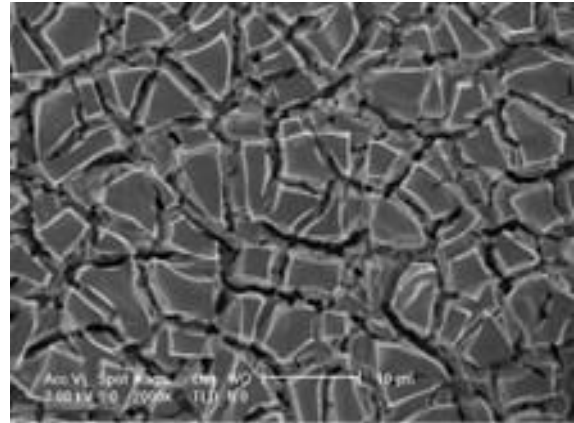
Şekil 3. Cam Altlıklar Üzerine Üretilmiş Fe-TiO₂ İnce Filmlerin X Işınları Difraksiyon Paternleri

Fe-Ti esaslı tozların Perkin Elmer DTA/TG cihazı ile 100 ml/debi argon atmosferi altında gerçekleştirilen termal özellikleri Şekil 4'te gösterilmektedir.

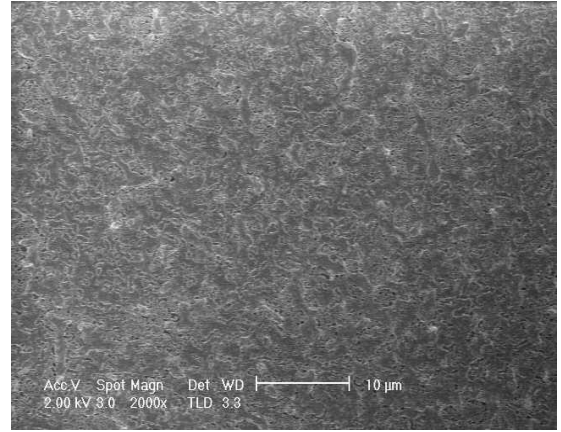
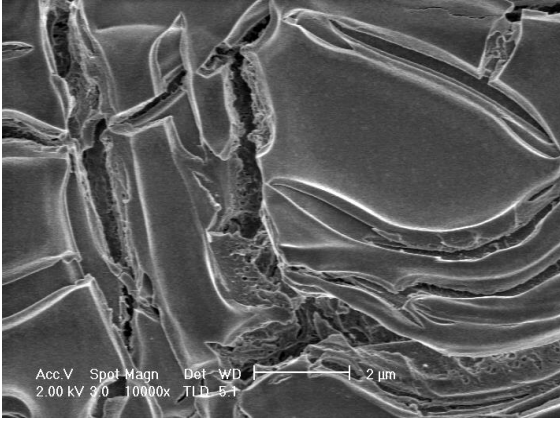
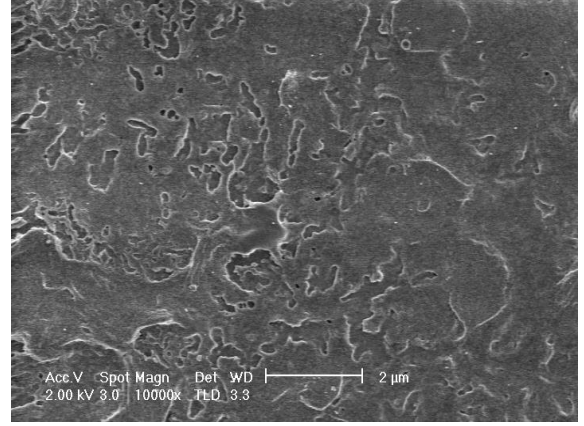
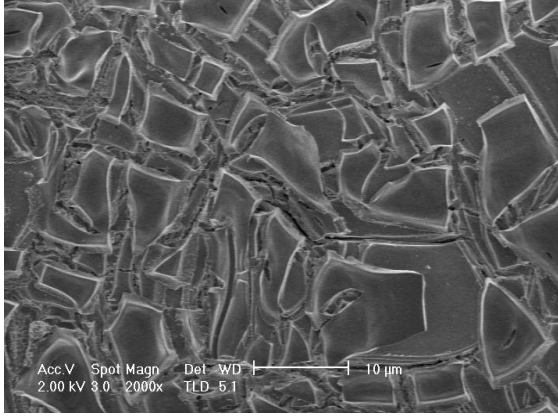


Şekil 4. Fe/Ti Esaslı Tozların DTA/TG Eğrisi

Kaplamaların mikroyapı özelliklerinin tespiti Philips Excell 30 S FEG marka SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te Fe katkısı olmayan kaplamaya ait SEM fotoğrafı yer almaktadır. Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de farklı Fe/Ti oranları içeren kaplamaların SEM fotoğrafları verilmiştir.

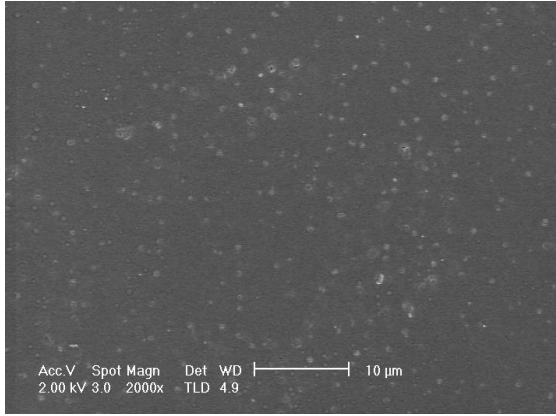
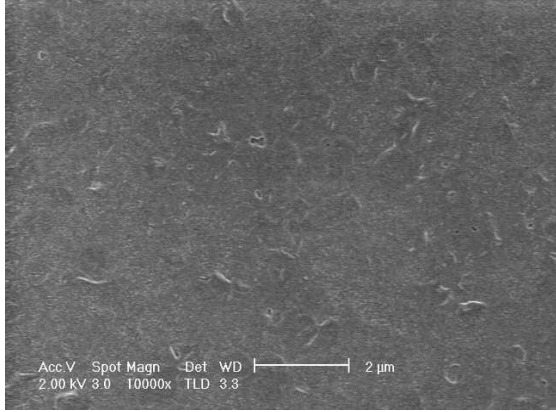


Şekil 5. Fe/Ti=0 Oranında Hazırlanan Fe-TiO₂ Kaplamaların Farklı Büyütmelerde SEM Mikroyapısı. (Katman Sayısı=6)

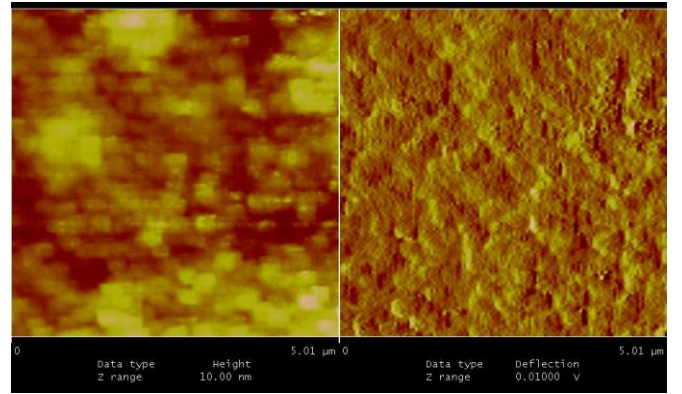
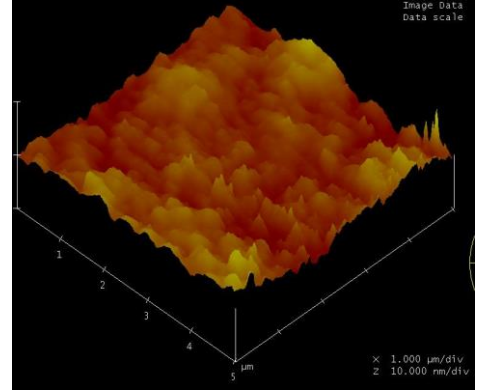


Şekil 6. Fe/Ti=0,07 Oranında Hazırlanan Fe-TiO₂ Kaplamaların Farklı Büyütmelerde SEM Mikroyapısı. (Katman Sayısı=6)

Şekil 7. Fe/Ti=0,18 Oranında Hazırlanan Fe-TiO₂ Kaplamaların Farklı Büyütmelerde SEM Mikroyapısı. (Katman Sayısı=6)



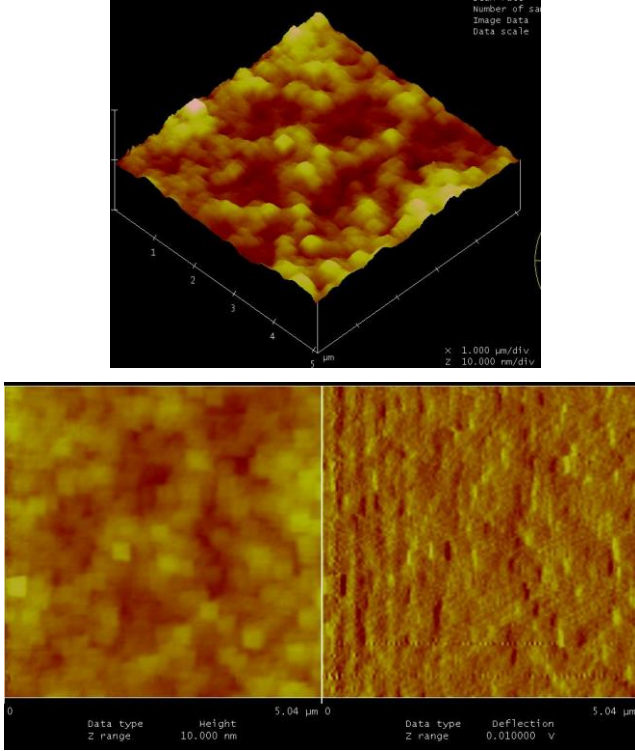
Şekil 8. Fe/Ti=0,73 Oranında Hazırlanan Fe-TiO₂ Kaplamaların Farklı Büyütmelerde SEM Mikroyapısı. (Katman Sayısı=6)



Şekil 9. Fe/Ti=0,07 Oranında Hazırlanan Fe-TiO₂ Kaplamaların (Üst) Üç ve (Alt) İki Boyutlu AFM Fotoğrafı

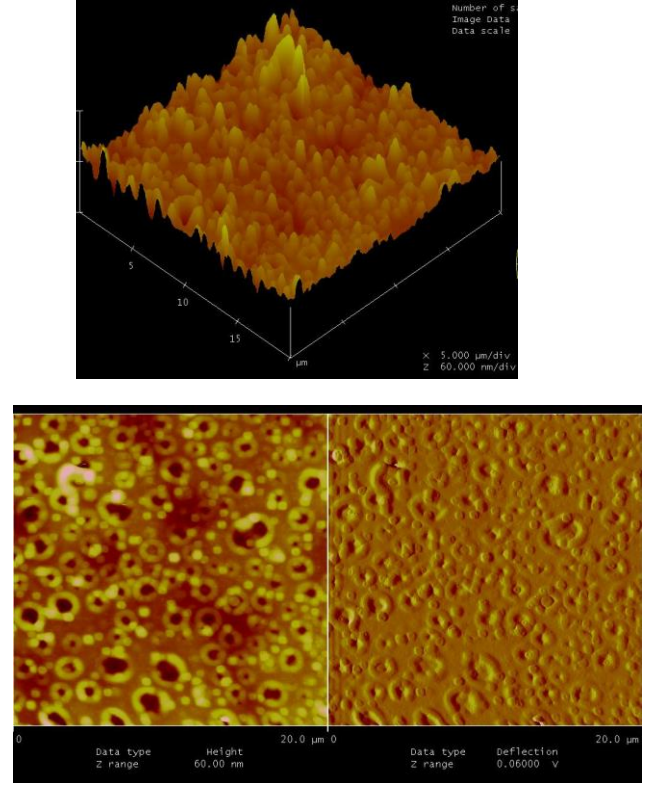
Cam altlıklar üzerinde oluşturulmuş farklı bileşimdeki kaplamaların resimleri Digital Enstrument AFM cihazı ile alınmıştır. Şekil 9'da Fe-TiO₂ filmlerinin Fe/Ti oranı 0,07 olan sentezlenmiş kaplamasının iki ve üç boyutlu AFM fotoğrafları verilmiştir.

Şekil 10'da Fe/Ti oranı 0,18 ve Şekil 11'de Fe/Ti oranı 0,73 olan kaplamaların AFM görselleri yer almaktadır.



Şekil 10. Fe/Ti=0,18 Oranında Hazırlanan Fe-TiO₂ Kaplamaların (Üst) Üç ve (Alt) İki Boyutlu AFM Görself

Şekil 11'de ise Fe/Ti oranı 0,73 olan kaplamalara ait AFM görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 11. Fe/Ti=0,73 Oranında Hazırlanan Fe-TiO₂ Kaplamaların (Üst) Üç ve (Alt) İki Boyutlu AFM Görself

Fotoaktivite deneyleri Optimum-One UV-VIS Spectrophotometer cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deney için 1 lt saf suya 2 ppm metilen mavisi (C₁₆H₁₈ClN₃S) ilave edilerek sıvı çözelti hazırlanmıştır. Her bir numune, ayrı ayrı 10 ml alınan çözeltilerin içerisinde bırakılıp açık havada 3 saat güneş ışığına maruz bırakılmıştır. Numunelerin metilen mavisi çözeltisini görünür ışıkta parçalaması incelenmiştir. Tablo 1'de Fe/Ti oranlarına bağlı olarak değişen 3 saat metilen mavisinde güneş ışığına maruz bırakılan numunelerin parçalanma yüzdeleri verilmiştir.

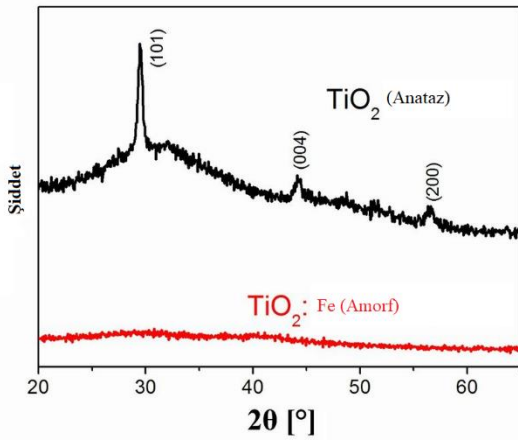
Tablo 1. Fe/Ti Oranına Göre Parçalanma Oranları

Fe/Ti Oranları	%Parçalanma
0	0
0,07	0,09
0,18	0,51
0,73	0,68

3. ANALİZ

Çözeltilerin pH analiz sonuçlarına göre Fe/Ti oranı düştükçe çözeltinin asitliği artmaktadır. pH ağ örtüsünün oluşumuna etki eden önemli bir faktördür. Daha düşük pH değerine sahip koşullar altında dağınık olarak dallanmış bir yapı oluşurken artan pH değerlerinde birbirinden ayrı halde salkımlar görünümünü kazanmıştır.

XRD analizleri sonucunda kaplamaların kristalleşme davranışlarına ait bilgiler elde edilmiştir. Jeller 300-600° C arasında ısıl işleminden geçirilmiştir. Bu jel yapısı 350°C yer kadar amorf yapıdadır. 350-600°C arasında da anataz yapıdadır. Şekil 12’de amorf ve anataz yapılarına ait XRD paternleri yer almaktadır.



Şekil 12. 350 C'nin Altında Meydana Gelen Amorf Yapı ve Üzerinde Oluşan Anataz Yapının XRD Paterni

Yapılan çalışmada 600 °C’de tavllanmış Fe-Ti oranlarına göre kaplanmış ince filmler için sonuçlar verilmiştir. Demir miktarının içeriğine göre pik değerleri değişim göstermiştir. En düşük demir içeriğine sahip olan numune anataz veya anataz rutil karışık fazına yönelir. Fe/Ti oranı 0.73 olan numunenin gösterdiği pik değerleri en zayıf olandır. Kaplamalarda anataz TiO₂, rutil TiO₂, Ti₃O₅, FeTi, TiO, Ti₂O ve α-Fe₂O₃ fazları bulunmuştur.

TG grafiği incelendiğinde %26 toplam ağırlık kaybı meydana geldiği ve ağırlık kaybının 650°C’ ye kadar devam ettiği görülmektedir. 500° C’ye kadar toplam ağırlığın %24’ü kaybedilirken 500-650 arasında ise %2 si kaybedilmiştir. DTA eğrisi de göz önünde bulundurularak 80 ile 330°C kütle kaybı endotermik reaksiyon sonucunda gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu da jelde bulunan alkollerin fiziksel suyun ve alkoksitlerden gelen organik grupların sistemden uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. 330° C’nin üzerinde meydana gelen ağırlık kaybının nedeni ise Fe-Ti esaslı tozda bulunan karbon türü malzemenin yanmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, TiO₂’nin 330° C’nin üzerinde amorf fazdan anataz faza geçmesindedir (Mohammed, 2020). DTA sonuçlarına göre 800 °C mertebelerinde yer alan düşük şiddetli endotermik pikin ise anataz rutil faz dönüşüm reaksiyonuna ait olduğunun

tespit edilmiştir. Bu sebeple 800 °C’den sonra rutil fazın oluşması ile görünür ışıkta fotokatalitik özelliklerin ortadan kalkması ve bu özelliklerin kazanılması için UV ışığa ihtiyaç duyulacaktır (Pant ve arkadaşları, 2019).

Mikroyapı görüntülerinde çözelti içerisine katılan Fe oranı arttıkça düzenli bir morfoloji oluşmaktadır. Kaplamalar genelde mozaik yapıda olup, kaplama adacıkları oluşmuştur. Bu adacıklar arasında kanallar oluşmuştur. Bu adacıkların boyutu 0.5 ile 2 µm arasında değişmektedir. Fe/Ti oranı arttıkça homojen ve gözenekli kaplamanın meydana geldiği görülmektedir. Kaplamaların katman sayısının artmasına göre pul pul dökülmemesi yapılaşma özelliklerinin iyi olduğunu göstermektedir. Bu durum kaplama ömrünün uzun olması anlamına gelmektedir. Ayrıca, artan katman sayısına göre katmanların düzenli bir şekilde büyüdüğü görülmektedir. Katman sayısı arttıkça taneler homojen bir şekilde büyüme göstermektedir ve tane dağılımında da homojenlik görülmektedir.

Fe/Ti=0 olan kaplamalarda TiO₂’nin daha iyi kalsine olabilmeleri için yüksek sıcaklıklarda çalışılmalıdır fakat Fe oranı artırılarak daha düzenli tane yapıları ufalan bir görüntü elde edilebilmiştir. Bunu da en iyi Şekil 6’da görebilmekteyiz. Şekil 7’de mikroyapı içerisinde gözenekli yapılar görülmektedir. Şekil 8’de ise kaplama kalınlığının sebep olduğu yetersiz yayılmadan oluşan hatalar görülmektedir. Kısaca artan Fe/Ti oranına göre daha homojen ve fazla gözenekli kaplamanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen termal işlemler neticesinde kaplamalarda herhangi bir dökülme gözlenmemiş olup bölgesel bazı çatlama yapıları olduğu gözlenmiştir.

AFM araştırmaları SEM analizleri ile birebir örtüşen sonuçlar vermiştir. Fe/Ti oranı arttıkça kaplamaların yüzeyleri eş aksenli ve homojene yakın bir dağılım göstermiştir. Bu durum kaplamanın daha iyi bir yapılaşma yüzeyine sahip olması bakımından kritik bir öneme sahiptir. Fe/Ti 0,73 oranında hazırlanan kaplamaların sırasıyla 0,07 ve 0,18 oranında hazırlanan kaplamalara kıyasla asperite oranlarının daha iyi olduğu ve daha iyi fotokatalitik özellikler göstereceğinin de bir kanıtıdır.

Fotokatalitik etkiye sahip malzemelerin zamanla içinde bulunduğu organik çözeltiyi parçaladığı ve böylece çözelti konsantrasyonunda düşme olduğu gözlemlenmiştir. Çözelti konsantrasyonu düştükçe çözelti rengi açıldığı gibi çözeltinin absorpsiyon değeri de düşmüştür. Absorpsiyon değerindeki düşüşün yüzdesel oranı aynı zamanda organik çözeltide parçalanma oranıyla paralellik gösterir. Dolayısıyla çözeltinin konsantrasyonu düştükçe absorpsiyon değeri azalır. 6 katlı kaplamaların sırasıyla Fe/Ti=0, 0.18, 0.73 ve 0.007 oranları için azalarak maksimum dalga boylarında elde edilen absorpsiyon değişimlerini göstermektedir. Buna göre Fe/Ti=0,73 kaplamaları için en yüksek parçalanma değeri göstermiş ve Fe miktarı arttıkça parçalanma yüzdelilerinde artış gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Sol-jel yöntemiyle kuvars camlar üzerinde anti bakteriyel uygulamalar için Fe ilave edilmiş TiO₂ kaplamalar başarıyla sentezlenmiştir. Fe/Ti oranı düşüktüğü çözeltilerdeki klor miktarının artması sebebiyle çözeltinin asitliği artmaktadır. XRD analizleri cam altlıklar üzerinde Fe-TiO₂ kaplamaların başarılı bir şekilde üretildiğini göstermektedir. Piklerin şiddetleri Fe/Ti oranlarıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Jeller 300-600° C arasında ısı işleminden geçirilmiştir. Bu jel kaplama; 350°C' ye kadar amorf, 350-600°C arasında da anataz yapıdadır. İçerdiği demir miktarına göre piklerin değerleri değişmektedir. Şiddeti yüksek olan pikler ince filmlere aittir. DTA/TG sonuçlarına göre %26 toplam ağırlık kaybı meydana geldiği ve ağırlık kaybının 650°C' ye kadar devam ettiği görülmektedir. 500° C'ye kadar toplam ağırlığın %24'ü kaybedilirken 500-650 arasında ise %2'si kaybedilmiştir. Fe/Ti oranının artması ile homojen ve oldukça yüksek gözenekli kaplamanın elde edildiği bu sebeple de daha pürüzlü yüzeylerin oluştuğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak farklı Fe/Ti oranlarında gerçekleştirilen kaplamalarda Fe oranı arttıkça anataz fazının daha belirgin hale gelmesi sebebiyle fotokatalitik özelliklerin arttığı gözlenmiş ve veriler fotokatalitik testler ile doğrulanmıştır. Yüksek yüzey pürüzlülüğü sebebiyle kaplamaların diğer yüzeylere yapışma direncinin daha yüksek olması ile en iyi kaplama ve fotokatalitik özellikler 0,73 oranındaki Fe/Ti alaşımlarında elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Akman, Beyza, et al. (2021). "Gıda ve Sağlık Uygulamaları İçin UV-A Işıma Altında Alternatif Bir Fotokatalizör Olarak: Doğal Melanin Nanoparçacıkları." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 32: 940-946.

Altıntaş Yıldırım, Ö., Gökçe, İ., Yıldırım, M. C., Ünalın, H. E., Sönmezoğlu, S., & Öztürk, T. (2019). Yeni nesil Zn₂SnO₄-GO-M (M: Mn, Co) foto katalizör kompozit yapıların sentezi, karakterizasyonu ve antibakteriyel özelliklerinin incelenmesi: 101-123.

Bulut, M., and Birben, Ü. (2019). "AB Su Çerçeve Direktifinin Türkiye'de su kaynakları yönetimine etkisi." *Turkish Journal of Forestry* 20.3: 221-233.

Dalkılıç, Feride. (2022). Gözenekli cam üzerinde immobilize edilmiş nadir toprak iyonu katkılı TiO₂ ile sulardan boyar madde giderimi. *MS thesis. Konya Teknik Üniversitesi: (17-35)*

Dewi, Yolanda. (2019). Sintia. Sintesis dan karakterisasi fotokatalis TiO₂ mesopori terdoping galium (III) dengan variasi konsentrasi dopan Ga³⁺ menggunakan metode

sonikasi. *Diss. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*, 103-120.

Dutta, Vishal, et al. (2021). "An overview on WO₃ based photocatalyst for environmental remediation." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9.1: 105018.

Guo, Qing, et al. (2019). "Fundamentals of TiO₂ photocatalysis: concepts, mechanisms, and challenges." *Advanced Materials* 31.50: 1901997.

Güner, Eda KELEŞ. (2023). "Kobalt Ferrit Nanoparçacıkların Sentezi, Karakterizasyonu ve Fotokataliz Uygulamaları: Farklı Çöktürücü Maddelerin ve Yöntemlerin Etkisi." *Journal of the Institute of Science and Technology* 13.1: 432-447.

Huang, Zhuquan, et al. (2021). "Insight into the real efficacy of graphene for enhancing photocatalytic efficiency: a case study on CVD graphene-TiO₂ composites." *ACS Applied Energy Materials* 4.9: 8755-8764.

İzgi, Mehmet Sait, et al. (2020). "Etkili Aktif Karbon Destekli Cds Fotokatalizörlerin Fotokatalitik Uygulamaları." *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 9.2: 662-670.

Liu, Xiangyu, et al. (2021). "Hollow CdS-based photocatalysts." *Journal of Materiomics* 7.3: 419-439.

Magdalane, C. Maria, et al. (2021). "Synthesis and characterization of TiO₂ doped cobalt ferrite nanoparticles via microwave method: Investigation of photocatalytic performance of congo red degradation dye." *Surfaces and Interfaces* 25: 101296.

Mohammed, Mustafa KA. (2020). "Sol-gel synthesis of Au-doped TiO₂ supported SWCNT nanohybrid with visible-light-driven photocatalytic for high degradation performance toward methylene blue dye." *Optik* 223: 165607.

Özdoğan, Nizamettin, and Kadir Özdemir. (2019). "İçme suyu kaynaklarındaki trihalometan oluşumunun incelenmesi." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 17: 776-785.

Özgür, Cihan. (2021). "Dezenfeksiyon ünitesi risk analizi: içme suyu arıtma tesisi." *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 10.1: 16-22.

Pamela Luberty Sinaga, Sisi. Studi Pengaruh Rasio Dopan. (2021). Fe₂O₃ dan Temperatur Kalsinasi

Terhadap Karakteristik Komposit TiO₂/Fe₂O₃ sebagai *Material Fotokatalis*. Diss. Universitas Brawijaya.

Pant, Bishweshwar, Mira Park, and Soo-Jin Park. (2019). "Recent advances in TiO₂ films prepared by sol-gel methods for photocatalytic degradation of organic pollutants and antibacterial activities." *Coatings* 9.10: 613.

Patial, Shilpa, et al. (2020). "Tunable photocatalytic activity of SrTiO₃ for water splitting: strategies and future scenario." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8.3: 103791.

Vahl, Alexander, et al. (2019). "Pathways to tailor photocatalytic performance of TiO₂ thin films deposited by reactive magnetron sputtering." *Materials* 12.17: 2840.

Wang, Yu-Hsiang, et al. (2020). "A review on the pathways of the improved structural characteristics and photocatalytic performance of titanium dioxide (TiO₂) thin films fabricated by the magnetron-sputtering technique." *Catalysts* 10.6: 598.

Yaqoob, Asim Ali, et al. (2020). "Advances and challenges in developing efficient graphene oxide-based ZnO photocatalysts for dye photo-oxidation." *Nanomaterials* 10.5: 932.

Zhang, Xuqiang, et al. (2022). "Boron substitution enhanced activity of B_xGa_{1-x}As/GaAs photocatalyst for water splitting." *Applied Catalysis B: Environmental* 300: 120690.

Dönel Çanakta Yüzey Bitirme Prosesinde Oluşan Atık Suyun Geri Kazanımı İçin Çapak Alma Taşlarının Yeniden Kullanımı

Gülçin DENİZ^{*1}, Burcu ACEL², Büşra ACEL³, Ercan ÇAKIR⁴, N. Kamil SALİHOĞLU⁵

^{1,2,3,5}Uludağ Üniversitesi, Bursa, 16059, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 10.07.2023, Kabul Tarihi: 08.08.2023

Özet

Endüstriyel atık suların arıtılması ve proseslerde yeniden kullanılması, temiz üretim çalışmaları açısından son derece değerlidir. Otomotiv sektörü suyun yüksek miktarda kullanıldığı endüstrilerden biridir. Özellikle araç motorları için enjektör, pul, ayar pulu vb. parçaların yıkama ve hassas yüzey işlem proseslerinde yüksek miktarda su tüketimleri söz konusudur. Bu çalışmada bir orijinal ekipman üreticisinde (OEM) dönel çanakta yüzey bitirme prosesinde oluşan atık suyun geri kazanımı için ön arıtma ünitesi tasarlanmıştır. Bu tasarımda üretim prosesi atıklarından birisi olan ve bertaraf edilen çapak alma taşlarının, filtre malzemesi olarak yeniden kullanımı araştırılmıştır. Mevcutta oluşan atık sular bir işleme tabi tutulmadan bertaraf edilmektedir. Atık suların yeniden kullanılabilmesi için membran ile arıtma işlemine tabi tutulabileceği, yapılan literatür çalışmalarından görülmektedir. Ancak membran öncesinde suyun içeriğindeki partikül ve çökelebilen katı madde yükünün giderilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu çalışmada membran ile arıtma süreci öncesindeki, AKM (Askıda Katı Madde) giderimine ait bir araştırma ortaya konulmuştur. Çalışmanın amacı AKM yükü fazla olan kirli suların masrafsız ve daha düşük maliyet ile eko-verimlilik çerçevesinde ön arıtımının sağlanmasıdır. Çapak alma taşları yerleştirilerek tasarlanan ön çöktürme havuzunda, üç gün dokuz vardiya (1 vardiya 8 saatlik çalışma süresini ifade eder.) alınan numuneler AKM analizlerine tabi tutulmuştur. Taş filtrenin ön çöktürmede kullanımının ortalama atık su AKM değerini %98 giderim verimi ile 41182,88 mg/L'den 877,13 mg/L değerine düşürdüğü tespit edilmiştir. Ömrünü tamamlamış çapak alma taşlarının atık su arıtımında filtre malzemesi olarak yeniden kullanımının işletmelerdeki benzer eko-verimlilik çalışmaları için önemli bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Eko-verimlilik, Atık su, Geri kazanım, Filtre malzemesi.

Reuse of deburring stones for recovery of wastewater generated in the surface finishing process in the rotary bowl

Abstract

The treatment of industrial wastewater and its reuse in processes are extremely valuable in terms of clean production. The automotive sector is one of the industries where water is used in high amounts. Especially for vehicle engines, injectors, washers, shims etc. highwater consumption occurs in parts washing and sensitive surface treatment processes. In this study, a pre-treatment unit was designed for the recovery of wastewater generated in the surface finishing process in an original equipment manufacturer (OEM). In this design, the reuse of deburring stones, which is one of the production process wastes and disposed, as filter material has been investigated. The existing wastewater is disposed of without any treatment. It is seen from the literature studies that wastewater can be treated with membranes to be reused. However, it

*Sorumlu yazar gulcindeniz@dogupres.com, ²burcuacel@dogupres.com, ³busraacel@dogupres.com, ⁴ercancakir@dogupres.com,

⁵nkamils@uludag.edu.tr

has been understood that the particle and precipitable solids load in the water must be removed before the membrane. There is no information about the membrane process in this study. Research on the removal of AKM (Suspended Solids) before the membrane has been revealed. The aim of the study is to provide pretreatment of polluted waters with high WWTP load free of charge and at a lower cost within the framework of eco-efficiency. Samples taken in nine shifts (1 shift means 8 hours of working time.) for three days were subjected to SS (Suspended Solid) analysis in the pre-settlement basin designed by placing deburring stones. It was determined that the use of the stone filter in pre-settlement reduced the average wastewater SS value from 41182.88 mg/L to 877.13 mg/L with 97% removal. It is thought that the reuse of deburring stones as filter material in wastewater treatment will be an important reference for similar eco-efficiency studies in enterprises.

Keywords: Sustainability, Eco-efficiency, Wastewater, Recovery, Filter material.

1. GİRİŞ

Su kaynakları artan nüfus, endüstrileşme ve kontrolsüz tarımsal sulama sebebi ile talebe yanıt verememektedir. Küresel ısınma nedeni ile doğal dengenin bozulması yağış miktarlarını olumsuz etkileyerek, susuzluğun son yıllarda dünya genelinde yaşanan en önemli problemlerden birisi haline gelmesine sebep olmuştur. Endüstride kesintisiz üretim yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan suyun temin sorunlarının yaşanmaması adına geri kazanım yöntemlerinin kullanılması ve bu amaçla kullanılacak arıtma sistemlerinin tasarımı oldukça önemlidir. Artan üretim maliyetleri ve su kaynaklarının azalması, üretimde eko-verimlilik ve sürdürülebilirlik kavramlarının önemini ortaya koymaktadır. Literatürde yıllar içerisinde üretimde eko-verimlilik ve sürdürülebilirlik konularında pek çok çalışma yapılmış ve son yıllarda artarak yenileri eklenmiştir. Yapılan literatür araştırması sonucunda elde edilen bazı örnek çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Liu ve diğ. (2021) endüstriyel üretimde eko-verimliliğin artırılması ve sürdürülebilir gelişimin desteklenmesi için endüstriyel üretim süreçlerinde enerji perspektifi ve eko-verimlilik optimizasyonu için verilerin analiz edilmesinin önemini belirtmişlerdir. Cüce (2018) çalışmada, endüstride temiz üretim odaklı yaklaşımlar ve dögüsel çevre politikalarının araştırılması, ayrıca verimlilik stratejilerinin değerlendirmesini yapmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yaşam dögüsü analizi (YDA) ve Çevre için Tasarım (ÇİT) araçları ürünün üretimi sonucunda çevresel etkileri en aza indiren verimliliği arttırırken arıtım maliyetlerini azaltan ve tasarım kararını destekleyen araçlardan olduğunu ortaya koymuşlardır. Sapmaz Veral (2019) literatür araştırmasına dayalı çalışmada, dögüsel ekonominin atık ve kaynak yönetimi için etkili bir araç olacağını belirtmiştir. Sapmaz Veral (2021) çalışmada dögüsel

ekonominin önündeki engelleri, dögüsel ekonomiye geçiş için stratejileri ve dögüsel iş modellerini atık yönetimi başlığı altında incelemiş ve dögüsel ekonominin üretim ve tüketim alışkanlıklarıyla ilişkisini ortaya koymuştur. Çolak ve diğ. (2018), otomotiv sektöründe faaliyet gösteren üreticilerin yeşil performanslarını bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarının sonucunda, otomotiv endüstrisindeki şirketlerin kendi yeşil performanslarını ölçmeleri ve takip etmeleri ve tedarikçilerini seçmeleri için ilgili yöntemin önemli bir araç sağladığını belirtmişlerdir. Ateş (2021) çalışmada dögüsel ekonominin en önemli bileşenlerinden olan geri dönüşüm kavramını 30 ülke için 2008-2017 döneminde panel veri yöntemleriyle, dirençli tahminci Prais-Winsten (PCSEs) kullanılarak bağımlı ve bağımsız değişkenler tanımlayarak gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucunda ülkelerin geri dönüşüme yönelmelerinin gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH)'yi arttıracağı sonucuna varmıştır. Demircioğlu ve diğ. (2020) dögüsel ekonominin güçlendirilmesini sağlayan endüstriyel simbiyozu araştırmışlardır. Yarattığı faydaları ve maliyetler üzerindeki etkilerinin dögüsel ekonomideki önemini açıklamışlardır. Gedik (2020) çalışmada dögüsel ekonomi kavramıyla ilgili geniş bir teorik çerçeve oluşturmaya odaklanmıştır. Önder (2018) çalışmada sürdürülebilir kalkınma anlayışını hâkim kılabilmek için ortaya atılan ve dögüsel ekonomi olarak adlandırılan ekonomik yaklaşımı incelemiştir. Sapmaz Veral ve diğ. (2018) AB(Avrupa Birliği) atık yönetiminden kaynak yönetimi yaklaşımına geçiş yönelimlerini ortaya koymaya çalışan derlemelerinde AB'nin, atık yönetiminden kaynak yönetimi anlayışına geçişi bir fırsat olarak gördüğünü, ana odağının sadece atık yönetimi olmaktan çıkıp kaynakların geri kazanımına da kaydığını belirtmişlerdir. Özulucan ve diğ. (2017) çalışmalarında gıda sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin verilerini kullanarak, işletmenin geri kazanım faaliyetinin, performansına olan etkilerini

incelemiş ve sonuç olarak işletmenin geri dönüşümlü ürüne geçiş yapmasının ve geri kazanım faaliyetlerine önem vermesinin şirkete fayda sağlayacağı olgusuna varmışlardır. Ekşi ve diğ. (2020) çalışmalarında, ÇYS (Çevre Yönetim Sistemi) benimsenmesinde etken olan faktörleri ve uygulama sonucu elde edilmesi beklenen iyileşmeleri ele almış ve bunların firma özelliklerine göre farklılık gösterip göstermediğini incelemişlerdir. ÇYS'e geçişte etken olan finansal faktörlerin ihracat yapma durumuna göre, çevre ile ilgili faktörlerin çalışan sayısına göre, rekabetle ilgili faktörlerin ise sektöre göre farklılık gösterdiğini belirlemişlerdir.

Arı ve diğ. (2018) çalışmalarında iklim değişikliği ve küresel ısınma karşısında işletmeler için sürdürülebilir çözüm önerilerini başlıklar altında sunmuşlardır ve gerçek hayat uygulamalarından firmalar için örnek teşkil edecek sürdürülebilirlik çalışmalarından ve çözüm önerilerinden bahsetmişlerdir. Turhan ve diğ. (2018) nitel araştırma yöntemini kullandıkları çalışmalarında, önemi giderek daha fazla artan sürdürülebilir üretim konusunda Türkiye'nin en büyük dört otomotiv firmasının raporlarını sürdürülebilirlik başlığı altında diğer firmalara yol göstermek ve daha sonra yapılan çalışmalara örnek teşkil etmek amacıyla incelemişlerdir. Götze ve diğ. (2019) vaka çalışmalarında eko-verimlilik kavramının, tekil ürünlerin ve üretim süreçlerinin sürdürülebilirlik odaklı analizi ve tasarımı için de verimli olduğunu gözlemlemişler ve bu gözlemlerini enjeksiyon kalıplama için kalıplara uyarlamışlar, uygulanabilirliğini ve tipik sonuçlarını göstermişlerdir. Şimşek ve diğ. (2018) çalışmalarında, yerel bir yüzey bitirme firmasında metal yüzey işleme ve atık metal talaşlarında kullanılan soğutma sıvısının değerlendirilmesi için gerçekleştirdikleri analizlerin, soğutma sıvısı geri kazanımının ve yeniden kullanımının genişletilmesi için kurulacak arıtma ve besleme hattında belirleyici olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Günümüzde özellikle talaşlı imalatta ileri teknolojiyle donatılmış tezgâhlar kullanılıyor olsa da çapaksız bir imalat çoğu zaman mümkün olmaz. Diğer taraftan çapak hem üretim kalitesi ve hem de çevreye verdiği zararlar bakımından riskli bir oluşumdur. Ayrıca çapaklı parçalar montaj işleminde de problem oluşturmasının yanında yorulma ömrünü de olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple özellikle hassas parçalar ilave bir çapak temizleme işlemine tabi tutulmaktadır (El Naser ve diğ., 2017).

Özel bir kesme yöntemi olan hassas kesme parçaların doğru bir geometri, çatlak veya yırtılma içermeyen ve pürüzsüz kesilmiş kenarlarla herhangi bir ana ikincil operasyona gerek duyulmadan kalıplarla üretildiği ileri

ve hassas bir saç şekillendirme yöntemidir. İkincil operasyonların elimine edilmesi ile presten çıkan ve hemen sonrasında çapak alma işlemi uygulandıktan sonra toplanmaya hazır parçaların elde edilmesi parça üretim maliyetlerini ve sürelerini düşürmekte, aynı zamanda yüzey ve boyut hassasiyeti çok yüksek olan parçalar elde edilmektedir (Darıcı, 1998).

Pres tezgahlarında basılan parçalar, istenilen teknik ölçülere ulaşmak için taşlama, lebleme vb. yüzey taşlama işlemlerine tabi tutulur. Bu operasyonlarda oluşan düşük kuvvet etkisi ile kopabilecek çapakların giderimi için çapak alma işlemine tabi tutulur. Uygulama sırasında metal iş parçaları, çapak alma taşları ve su girdi olarak kullanılır. İşlem sonucunda istenen yüzey kalitesinde metal iş parçaları, atık çapak alma taşı ve endüstriyel atık su elde edilir.

Endüstriyel atıksuların özellikleri, endüstriden endüstriye oldukça farklılıklar göstermektedir. Aynı daldaki endüstrilerde bile, kullanılan hammaddeler ve uygulanan proseslerin farklılığı, diğer birçok faktörle birlikte çıkan atık suyun yapısında farklılıklar oluşturmaktadır (Kopan, 2023). Yapılan analizlerde atık suyun AKM konsantrasyonu ortalama olarak 41.182,88 mg/L, Çökebilir Katı Madde (ÇKM) değeri 223,33±5,2 ml/L ve yağ ve gres değeri 74 mg/L olduğu görülmüştür. Yıllık ortalama değerler baz alındığında 6000 ile 7000 m³ arasında atık su oluşumu mümkündür.

Bu çalışmada, yukarıda ifade edilen temel ilkeler çerçevesinde orijinal bir ekipman üreticisinde (OEM) dönel çanakta çapak alma ve yüzey bitirme prosesinde oluşan atık suyun geri kazanımı için çapak alma taşlarının yeniden kullanımı araştırılmıştır. Atık suyun içerisinde yer alan ve askıda katı madde olarak nitelenen kirleticilerin giderimi suyun geri kazanımı ve filtrasyonu için önemlidir. AKM gideriminde farklı filtreleme sistemleri kullanılabilir. Çalışmada üretimdeki bir operasyondan çıkan taşların ön AKM gideriminde filtre malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Dönel çanakta yüzey bitirme prosesi, otomotiv endüstrisinde hassas toleranslara sahip parçaların yüzeylerinin işlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Sürecin girdileri metal parça, çapak alma taşı, su ve kimyasal madde olup, çıktıları istenen ölçülerde ürün, atık su ve atık çapak alma taşlarıdır. Deneysel çalışmada kullanılan çapak alma taşları dönel çanakta yüzey bitirme prosesinde oluşan atık suyun geri kazanımı için tasarlanan ön arıtma tankından alınmıştır. Bu çalışmada ön arıtım tankında prosesin çıktısı olan ve bertaraf edilen çapak alma taşlarının ön çöktürmede kullanımı incelenmiştir.

Çapak alma taşlarının bir defa kullanım sonrasında atık olması yerine suyun yeniden kullanımı ve arıtılarak geri kazanımı bu konuda yapılan temiz üretim çalışmaları açısından son derece değerlidir. Girdi olarak kullanılan yıkama banyoları, hassas yüzey işlemleri otomotiv endüstrisinde sıklıkla karşılaşılan proses adımlarıdır. Yüksek su tüketiminin dikkati çektiği bu proseslerde atık su önemli bir kirlilik yükünü taşımaktadır. Bu yük yağ, kimyasal maddeler ve metal partiküllerden oluşmaktadır.

Özet olarak, dönel çanakta talaş kaldırma işlem adımı, otomotiv endüstrisinde hassas toleranslara sahip ürünlerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu işlem, sürekli sıvı akışı ile metal iş parçalarının yüzeyinden, çapak alma taşları yardımı ile talaş kaldırılması operasyonudur. Örnek bir uygulama ile yapılan tasarım, kaynak tüketimini en aza indirecek ve temiz üretim uygulamaları için örnek sağlayacaktır. Bu bağlamda yapılacak temiz üretim çalışmaları, doğal kaynakların verimli kullanılması adına üretim sektöründe yer alan firmaların faaliyetlerini geliştirmeleri için önemlidir. Yapılacak iyileştirmeler adına ortaya konulacak çalışmaların temelinde üretim süreçlerinin doğru analiz edilmesi ve oluşan atık maddelerin yeniden kullanımının veya atık oluşumunu minimize edecek yöntemlerin geliştirilmesinin önemi yadsınamaz niteliktedir.

Çalışmanın amacı AKM yükü fazla olan kirli suların masrafsız ve daha düşük maliyet ile eko-verimlilik çerçevesinde ön artımının sağlanmasıdır. Çalışmada, üretim faaliyetlerinde oluşan atıkların yeniden kullanım potansiyelinin ele alınmasının gerekliliği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Literatürde yer alan atık suyun arıtımı ve yeniden kullanımı yöntemleri incelendiğinde, üretimin bu aşamasında ortaya çıkan atık suların arıtılması ve bir membrandan geçirilerek yağından arındırılmasının sağlanabileceği görülmüştür. Ancak membran uygulamalarının öncesinde, sudaki atık yükünün azaltılması ve bu sayede membran ömürlerinin uzatılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu aşamada çeşitli ön filtreleme yöntemleri gündeme gelmiş olup, çalışma kapsamında taş filtreleme sistemi incelenmiştir. Taşların boşluklarından ve yüzeylerinden yararlanılması ve atık su havuzu ile yapılacak ön arıtmanın performansı araştırılmıştır.

2. ANALİZ METODU

2.1. Deneysel Kurulum

Atık suların oluşumu incelendiğinde öncelikli olarak sudaki parametrelerin analizleri yapılmıştır. En büyük yükü oluşturan ve suyun görünümünde kirlenmeye sebep olan parametreler değerlendirilmiş ve tasarıma karar verilmiştir. Karar aşamasında özellikle sürecin atıklarından olan ve kullanım ömrü dolduğunda bertaraf edilen çapak alma taşları dikkati çekmektedir. Bu taşların çöktürme ve süzme işlemleri için iş yapabilme yeteneğinin ve kabiliyetinin araştırılması çalışmanın temel unsurlarındandır. Hem atık suyun partiküler madde yükünün iyileştirmesine etkisi incelenmiş hem de taşların firma içerisinde yeniden kullanılarak değerlendirilmesi ile endüstriyel simbiyoz örneği oluşturup oluşturamayacağı değerlendirilmiştir.

Dönel çanakta yüzey işleme için kullanılan taşların karakterizasyonu bu çalışmada Bölüm 2.1.2 Çapak alma taşlarının karakterizasyonu başlığı altında anlatılmıştır. İlk olarak metal iş parçaları, çapak alma taşları ile dönel çanak sistemine yüklenir. Ardından kimyasal madde ve su girdisi sağlanır. Dönüş hareketi sayesinde metal yüzeylerinden talaş kaldırma gerçekleştirilir. Tek operasyon için 150-300kg arasında taş kullanılmaktadır. Taşların kullanım ömrü tanımlı olup, kullanım ömrü sonunda taşlar bertaraf edilmek üzere dönel çanaklardan varillere aktarılmaktadır. İşlenen metal parçadan kaldırılacak çapak miktarına ve metallerin yüzey kalitesine bağlı olarak taş ömürleri değişiklik gösterir. Kullanım ömrü dolup işlevini yitiren bu taşların, farklı bir amaç doğrultusunda filtre malzemesi satın alınması yerine kullanımının araştırılması sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Atık suyun parametrelerinin yapılacak laboratuvar analizleri ile belirlenmesi ve atık taşların boyut, nitelik ve niceliksel analizlerinin gerçekleştirilmesi ilk adımdır. İkinci adım doğru sonuçların elde edilmesi için önem arz eden arıtma havuzunun kurgulanması olmuştur. Çıktıların analizi ve sonuçların değerlendirilmesi ile çalışma sonuçlandırılmıştır.

2.1.1. Atık Suyun Karakterizasyonu

Dönel çanakta yüzey bitirme prosesi hassas toleranslı parçaların imalat aşamasındaki en önemli adımlarından biridir. Metal parçaların üzerinde bir önceki operasyondan gelen metal yağları ve işlem sırasında çapakların giderilmesi ile oluşan metal partiküller ve

çapak alma taşlarından kopan parçaların oluşturduğu katılar su içerisinde önemli bir kirlilik yükü oluşturmaktadır. Yağ, partikül madde ve kimyasallar nedeniyle kontamine olan suyun yeniden kullanılması için öncelikle barındırdığı bu temel fiziksel ve kimyasal yükten arındırılması gerekmektedir. Atık su içerisindeki yağ ve gres analiz edilmiş ve değer 74 mg/L olarak ölçülmüştür (Rice ve Bridgewater, 2012). Bu aşamada fiziksel arıtma yöntemlerinin kullanılması için oluşturulan bir simülasyon havuzu ile suyun ne düzeyde iyileştirilebileceğinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yağ gideriminin yapılacağı membran uygulaması hakkında bilgi verilmemiştir. Membran filtre uygulanması öncesinde suyun iyileştirilmesi için araştırma yapılmıştır. Bu gerekçe ile yağ ve gres analizleri taş filtre uygulaması çıkışında ölçülmemiştir. İyileştirme etkilerinin görülebilmesi için giriş atık su ve filtreleme işleminin bitiminde alınan su numunelerinde ÇKM (Çökebilir Katı Madde), AKM (Askıda Katı Madde), pH, sıcaklık, basınç ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerdeki farklar değerlendirilmiş ve tasarımın hangi parametreler için etkili olduğuna karar verilmiştir. Atık su içerisinde bulanıklık oluşturan ve suyun kirli görünmesine sebep olan en temel kirleticiler, partikül maddelerdir. Dönel çanakta yüzey bitirme prosesi süresince oluşan atık partiküller suda çözünmez, su içerisinde dağılarak veya dipte çökerek çamur birikintisi oluşturur. Çökelemeyen katı maddelerin tespit edilmesi için Askıda Katı Madde Tayini (AKM) analizi ve ilave olarak çökebilir katı madde tayini uygulanmıştır (Rice ve Bridgewater, 2012).

Suyun karakterizasyonu için pH ve iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$) tayinleri de gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında oluşturulan simülasyon havuzunun sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değişimleri ile basınç (atm) ölçülmüştür. Her bir parametre hakkında elde edilen sonuçların değerlendirmesi yapılmıştır. Çapak alma taşlarının geri kazanılarak atık su havuzunda filtre olarak kullanılması simüle edilmiş ve atık suyun geri kazanımındaki etkileri incelenmiştir. Bu etkilerin sonuçları ile kazanım elde edilip edilemeyeceği yapılan deneyler ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Ölçüm ve analizler taş filtre uygulanması öncesi ve sonrasında 3 gün 9 vardiyayı kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. 1 haftalık çalışma süresi boyunca çapak alma taşlarının etkilerinin öncesi ve sonrası durumunda yapılan ölçüm ve analizler ile sonuçlar elde edilmiştir.

2.1.2. Çapak Alma Taşlarının Karakterizasyonu

Yüzey bitirme prosesi olan dönel çanakta kullanılan çapak alma taşlarına ait karakteristik özelliklerin

belirlenebilmesi için analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda taşların boyutları, boşluk hacimleri ve yapıları belirlenmiştir. Taşların yapılarına ait görseller elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan çapak alma taşları seramik yapılıdır, yaklaşık 4 mm. kenar uzunluğuna sahip üçgen geometrik biçime sahiptirler. Ayrıca 3 tekrarlı yapılan deneyde 100 ml hacim içerisinde 2183 ± 8 adet taş bulunduğu görülmüştür. Boşluk hacimlerinin tespit edilmesi için yine 3 tekrarlı olarak taşlar 1 litrelik kaba doldurulmuş ve üzerine su eklenmiştir. Dolan suyun hacim değeri tespit edilmiş ve 1 litre hacimde 300 ± 12 ml boşluk hacmi gözlenmiştir. Analizler sonucu elde edilen çapak alma taşlarının karakteristik özelliklerini içeren bilgiler aşağıda verilmiştir (Tablo 1). Taşların karakteristik yapısı belirlenmiş ve partiküller maddelerin giderimi için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çerçevede bertaraf edilen atık taşlar tekrar kullanılmıştır. Kurgulanan atık su havuzunun farklı bölümlerine doldurulan taşlardan geçen su katı partiküllerinin yüzeylerde tutunması ile kirliliklerden arınacağı düşünülmüştür. Gerçekleşecek giderim yapılacak su analizleri ile doğrulanacaktır.

2.2. Önerilen Yöntem

Arıtma havuzunun kurgulanması ve arıtma işlem adımları, çapak alma taşlarının karakterizasyonu sonucunda suyun genel parametrelerinin tayini ile belirlenmiştir. Bu aşamada proses kaynaklı oluşan atık suyun genel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu tabloda ortaya çıkan en belirgin özellik AKM (Askıda Katı Madde) ve ÇKM (Çökebilir Katı Madde) yükü olup, bu yük partiküler maddelerin proses gereği fazla olması sebebi ile ortaya çıkmaktadır. Bu fazla yükün sebebi dönel çanakta yüzey bitirme prosesinde oluşan çapak alma taşı partikülleri ve parçalardan kopan metal çapaklardır. Atık suyun tekrar kullanılabilmesi için yağlı suyun bir membrandan geçirilmesi ve yağdan arındırılması uygulanabilir bir yöntemdir. Ancak bu işlem öncesinde partikül yükünden arındırılması gerekmektedir. Bu yükün azaltılması membran ömürlerini arttıracak olmasının yanı sıra sudan maksimum renk giderim veriminin elde edilmesinde de önem taşımaktadır. Suyun arıtılmasında uygulanacak işlem adımları için bir havuz oluşturulmuştur (Şekil 1).

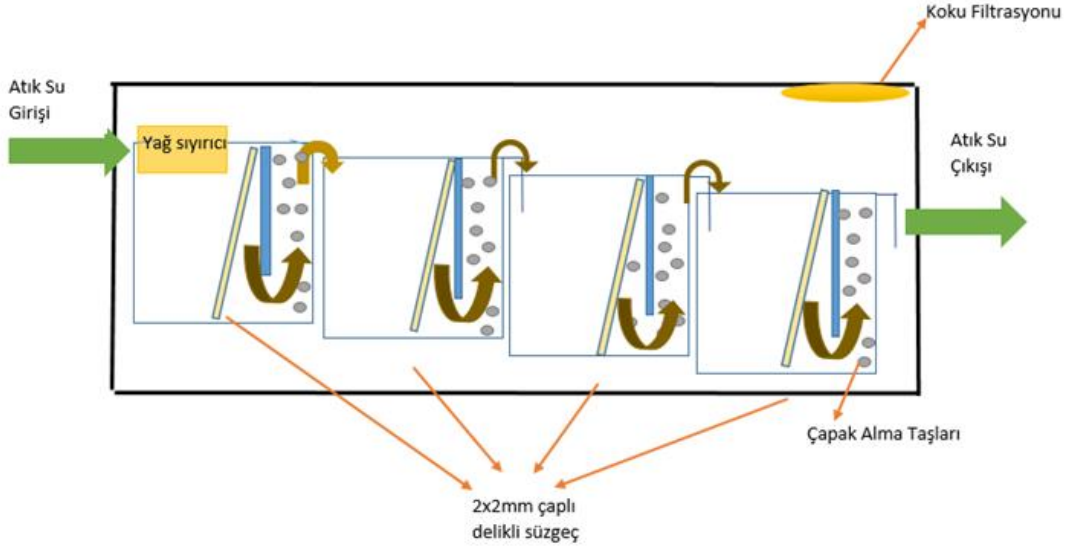
Tablo 1. Çapak alma taşı karakteristik özellikleri

Karakteristik özellik	Veri
Taş boyutu(mm)	 a/b 04/04
Taş yapısı	Seramik
Birim/adet (ml/adet)	100ml/2183±8adet
Boşluk hacmi (ml/l)	300±12 ml/l
Özgül ağırlık (g/cm ³) (Bulk Density)	5±0,2
Şekil	Üçgen
Görünüş	

Proseste oluşan atık su, giriş olarak tanımlanmış alandan yerçekimi ile bu havuza akmaktadır. Söz konusu atık su içerisinde, metal parçaların paslanmasını engelleyen koruyucu yağlar da yer almaktadır. Atık su içerisinde bulunan bu yağlar, havuzun birinci bekleme bölgesinde, özgül ağırlık farkından dolayı yüzeyde birikmektedir. Bu yağın giderilmesi için banyoya bir yağ sıyrıcı entegre edilmiştir. Bekleme bölgesinde yer alan yağın büyük bir kısmı bu yağ sıyrıcının içerisinde toplanarak ayrıştırılmaktadır. Toplam dört kısımdan oluşan arıtma havuzunda her bir kısma taş filtre entegre edilmiştir. Taş filtreleri öngörülen alanda sabitlenmesi için, taş boyutlarından daha küçük delikler içeren süzgeçler kullanılmıştır. İlk olarak delikli süzgeç ve taşların aralarından geçer. Atık su çapak alma taşlarının aralarından ilerlerken, partiküller dar boşluklarda kalır. Havuz hacminin 1/3'ünü kapsayacak ve akışa engel olmayacak miktarda taş kullanılmıştır. Böylelikle suyun temizlenmesi işlemi gerçekleşir. Bu araştırma için atık su

çıkışından su numunesi alınıp, analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizlerin sonuçları atık su girişinden alınan kirli suyun sonuçları ile kıyaslanmıştır. Havuzun kurgulanması sırasında işlevini tamamlamış çapak alma taşlarının uygunluğu ve performansı da araştırılmıştır.

Sürdürülebilir çevre bakış açısı ile gerçekleştirilen bu araştırma ile çapak alma taşlarının bertaraf edilmesi yerine tasarlanan havuzda filtre malzemesi olarak yeniden kullanılması değerlendirilmiştir. Havuzda cazibeyle akan suyun havuz içerisindeki kısımlar arasındaki geçişi de yerçekimi yardımıyla gerçekleşmektedir. Atık suyun havuzdaki bu ilerleyişi sırasında ortamda bakteriyolojik birikim nedeni ile koku oluşabileceği öngörülmüştür. Bu nedenle, kokunun çalışma alanına yayılımını önlemek için havuz üzeri kapak ile örtülmüş ve biriken kokunun filtre yardımı ile dış ortama salımı gerçekleştirilmiştir. Atık su çıkışı sonrası bu şekilde yer almayan ancak suyun membran filtreye iletilmesini sağlayan 1 adet pompa üzerinde bulunan manometre ve termometre yardımı ile sistemin basınç ve sıcaklık parametreleri de takip edilmiştir. Numunelerin alındığı an manometre ve termometre üzerindeki değerler kayıt altına alınmıştır.



Şekil 1. Arıtma havuzu kurgusu

3. ANALİZ

Toplam 3 gün (9 vardiya) boyunca yürütülen çalışmalar ile tasarlanan sistemden elde edilen sonuçlar incelenmiştir. İşletmede bir vardiya sekiz saatlik çalışma zamanını belirtmektedir. Bu çalışmanın yapıldığı tesiste 1.vardiya 00:00-08:00, 2.vardiya 08:00-16:00 ve 3. vardiya 16:00-24:00 saatleri arasında faaliyet gösterir.

Filtreleme sisteminin öncesi atık su girişinden alınan numuneler suyun kirliliğini, filtreleme sonrası atık su çıkışından alınan numuneler temiz halini temsil etmektedir. Dönel çanakta yüzey bitirme sürecindeki girdi ve çıktılar Şekil 2’de verilmektedir.

Parçalar, metal hammaddelerden pres tezgahlarında basıldıktan sonra hassas kenar, köşe değerleri eldesi için dönel çanakta yüzey bitirme işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem sırasında, su ve alkali çapak alma kimyasal maddesi kullanılır. Dönel hareketi sayesinde çapak alma taşları parça yüzeyinden istenmeyen çapakları gidermektedir. İşlemden çıkan su, atık su olarak deşarj edilmektedir. Dönel çanakta yüzey bitirme işlemi sırasında metal parçalar üzerinde korozyon oluşumunun engellenmesi için koruyucu yağ bulunmaktadır. İşlem sırasında bu yağlar emülsiyeye olmakta ve atık su ile deşarj yapılmaktadır. İşlem sonucunda ömrü dolan çapak alma taşları da atık statüsündedir. Bu taşlar variller içerisinde biriktirildikten sonra bertaraf

edilmekte ve bu işlem için bütçeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bir diğer atık madde, parçalardan ve taşlardan kopan maddeler ile oluşan atık çamurdur. Bu çamur, suyun içerisinde bulanıklık oluşturmada ve suyu kirletmektedir.

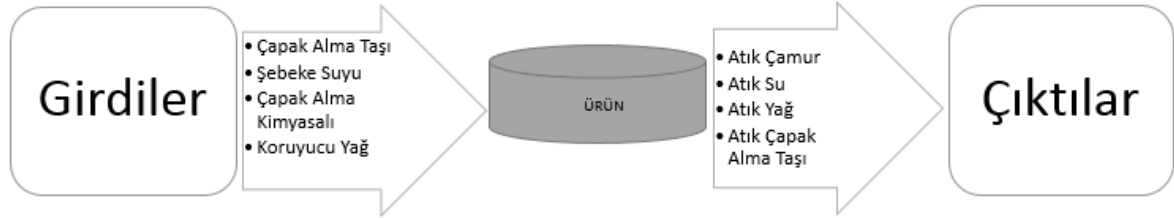
Sürecin tamamı incelendiğinde suyun geri kazanımı ve yeniden kullanılabilmesi için araştırmalar yapılmıştır. Döngüsel ekonomi ve çevresel iyileştirmeler gözden geçirilerek global uygulama örnekleri araştırılmıştır. Literatürde yer alan atık suyun arıtımı ve yeniden kullanımı yöntemleri incelendiğinde, üretimin bu aşamasında ortaya çıkan atık suların arıtılması ve bir membrandan geçirilerek yağdan arındırılmasının sağlanabileceği görülmüştür. Ancak membran uygulamalarının öncesinde, sudaki atık yükünün azaltılması ve bu sayede membran ömürlerinin uzatılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu aşamada çeşitli ön filtreleme yöntemleri gündeme gelmiş olup, çalışma kapsamında taş filtreleme sistemi incelenmiştir. Taşların boşluklarından ve yüzeylerinden yararlanılması ve atık su havuzu ile yapılacak ön arıtmanın performansı araştırılmıştır.

Ön arıtmada kullanılacak atık su havuzu içine, ömrü dolan atık çapak alma taşları yerleştirilmiştir. Toplam 3 gün (9 vardiya) boyunca atık su girişi ve çıkışından alınan numuneler analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen bu analizlere ait sonuçlar Tablo 2’de taş filtre öncesi ve Tablo 3’te taş filtre sonrası atık su parametreleri olarak

verilmiştir. Yapılan analizlerde atık suyun taş filtreden geçmeden önce askıda katı madde konsantrasyonunun ortalama olarak 41.182,88 mg/L olduğu görülmektedir.

Taşların konumlandırıldığı havuzun çıkışından alınan numuneler ile de AKM analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'te üç günün ortalamasının 877,13±9,3 mg/L

olduğu görülmüştür. Sonuçlar taşların havuza konumlandırılmasının, AKM değerinin düşürülmesinde oldukça etkili olduğunu göstermiştir.



Şekil 2. Dönel çanakta yüzey bitirme süreci girdileri ve çıktıları

Tablo 2. Taş Filtre Öncesi Atık Su Parametreleri

	Atık su parametreleri taş filtre öncesi								
	1.Gün			2.Gün			3.Gün		
	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya
Çökebilir Katı Madde (ml/l)	150	50	120	50	960	140	50	440	50
pH	8.21	7.71	7.14	8.61	8.17	8.85	8.56	8.8	8.7
İletkenlik (µS/cm)	647	678	836	568	980	588	551	618	536
Basınç(atm)	3.6	3,2	3,1	3	3,2	3,2	3	3	3
Sıcaklık(°C)	22	26	26	22	24	24	22	22	22
Askıda Katı Madde (mg/L)	41710	40120	40920	40290	43160	41050	40710	42580	40106

Tablo 3. Taş Filtre Sonrası Atık Su Parametreleri

	Atık su parametreleri taş filtre sonrası								
	1.Gün			2.Gün			3.Gün		
	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya
Çökebilir Katı Madde (ml/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	8.68	8.0	7.98	8.77	8.64	8.45	7.02	7.03	7.17
İletkenlik(µS/cm)	499	652	616	745	579	632	692	726	711
Basınç(atm)	3	3	3	3.2	3,2	3,2	3.2	3.2	3,2
Sıcaklık(°C)	22	22	22	24	24	24	22	22	22
Askıda Katı Madde(mg/L)	896,6	879,8	792,8	1680	1187	1244	797	925	492
% AKM Giderim Verimi	97,85	97,80	98,06	95,83	97,25	96,97	96,72	97,82	98,77

Not: Atık su ön artımı için 3 vardiyada aynı taşlar değişmeden kullanılmıştır.

Bir diğer ölçülen parametre ÇKM değeridir. Yine aynı zaman diliminde alınan numuneler ile yapılan analizlerde, taş filtre uygulaması öncesinde bu dokuz numune değerinin ortalaması $223,33 \pm 5,2$ ml/L olarak ölçülmüştür. Atık suyun taş filtreden geçmesi sonunda ise ÇKM ölçülemez. Elde edilen iki farklı parametreye dayalı sonuç bize taşlardan geçen suyun partiküller madde yükünden etkili bir biçimde arındığını göstermiştir. Bunun yanında ölçülen pH ve iletkenlik parametrelerinin önemli bir şekilde değişmediği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin kimyasal bir arıtma yapılmamasının olduğu düşünülmektedir.

Basınç ve sıcaklık parametreleri takip amaçlı ölçülmüş olup, yapılan ön arıtma işleminin bu değerler içinde belirli bir etkisinin olmadığı tespit edilmemiştir. Ancak sistemin stabil ve dengeli olarak akışını devam ettirdiğini göstermesi açısından önemlidir. Ölçülen sonuçlar da bunu göstermektedir. Sıcaklık atık su girişi için minimum 22 ve maksimum 26 °C olarak kaydedilmiştir. Taş filtre sonrası ölçülen sıcaklık değerleri minimum 22 ve maksimum 26 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Bunun temel sebebi sistemde değişim oluşturabilecek bir müdahalenin yapılmamasıdır. Sadece bir alanda pompa gücü uygulanmış olup, atık su çıkışında suyu membran filtreden geçirmek üzere kullanılmaktadır. Bu çalışma membran öncesi suyun iyileştirilmesine odaklanmıştır. Bu nedenle membran hakkında detaylara yer verilmemiştir. Elde edilen sonuçların ışığında AKM ve ÇKM değerlerinde belirgin biçimde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bu da membran ömrünün uzaması için anlamlıdır. Bu sonuç çapak alma taşlarının filtre olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Günümüzde döngüsel çevre politikalarının oluşturulması, kaynakların doğru yönetilmesi ve verimlilik stratejilerinin değerlendirilmesi endüstrilerin güncel konuları içerisinde yer almaktadır. Döngüsel ekonomi kavramı endüstride temiz üretim odaklı yaklaşımların gerçekleştirilmesi için oldukça anlamlıdır. Atık oluşumunu ortadan kaldıran bir yöntem ve felsefe bütünüdür. Bu çerçevede süreç içerisinde oluşan bir atığın, işletmede yeni bir alanda girdi olarak kullanılması ve değerlendirilmesi son zamanların karşımıza çıkan araştırma konusu olmuştur.

Bu çalışma kapsamında bir OEM’de ömrünü tamamlamış çapak alma taşlarının döngüsel ekonomi çerçevesinde yeniden kullanımı araştırılmıştır. Bu kapsamda orijinal bir ekipman üreticisinde (OEM) dön

çanakta yüzey bitirme prosesinde oluşan atık suyun geri kazanımı için ön arıtma tankı tasarlanmıştır. Tasarlanan tankta prosesin çıktısı olan ve bertaraf edilen çapak alma taşlarının ön çöktürmede kullanımı araştırılmıştır. Çalışmanın amacı AKM yükü fazla olan kirli suların masrafsız ve daha düşük maliyet ile eko-verimlilik çerçevesinde ön arıtımının sağlanmasıdır.

Atık su özelliklerine göre tasarımı yapılan tankta ömrünü tamamlamış çapak alma taşları filtrasyon malzemesi olarak kullanılmıştır. 3 gün boyunca 9 vardiyalık çalışma süresinde alınan farklı su numunelerinin analizi sonucunda su içerisinde kirlilik oluşturan askıda katı madde ve çökebilir katı madde konsantrasyonunun azaldığı görülmüştür. Atıl taşların filtre malzemesi olarak ön çöktürmede kullanımının ortalama atık su AKM değerini %97 giderim verimi ile 41182,88 mg/L’den 877,13 mg/L değerine düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda atıl çapak alma taşlarının atık suyun arıtılmasında kullanılabilirliği görülmüştür. Haftalık 70€ ortalama bedeli ile filtre tüketimi bulunmaktadır. Tüketimin ortadan kaldırılması ile bu maliyetin oluşumunun önlenebileceği görülmüştür. Tek operasyon için 150-300kg arasında taş kullanılmaktadır. Oluşan taşların kg başına bertaraf bedeli 0,1€ olup, ortalama bertaraf bedeli 2500€/yıl olarak hesap edilmiştir. Döngüsel ekonomi için değer yaratan ve kullanılabilir olan bu uygulama ile filtre için harcanacak bedellerin harcanmamasının gerekmeyeceği, filtre değişim ve yeni filtre alınması maliyetlerinin önlenebileceği, atık taş bertaraf maliyetlerinin azaltılabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Çalışmanın gerçekleştirildiği ISO 14001 Çevre yönetim sistemi gerekliliklerini yerine getiren örnek bir OEM’de ortaya çıkan ve atıkların yeniden kullanımının değerlendirildiği bu çalışma başka çalışmalar için de örnek teşkil etmesi açısından değerlidir.

SİMGELER

atm	Atmosfer
g/cm ³	Gram/santimetreküp
µS/cm	Mikrosiemens/santimetre
mg/L	Miligram/litre
ml/L	Mililitre/litre
mm	Milimetre
°C	Santigrat derece
%	Yüzde

KAYNAKLAR

Arı, E. S., & Ergin, E. (2018). Sürdürülebilir İşletme Olma Yolunda Çözüm Önerileri. *Bitlis Eren Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Akademik İzdüşüm Dergisi*, 3(4), 1-18.

Çolak, M., & Boyacı, A. İ. (2018). A Fuzzy Logic Based Green Performance Evaluation Model for Automotive Industry. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13), 39-44.

Darıcı, Ü. B. (1998). Hassas kesme ve kalıpları.

Demircioğlu, E. N., & Ever, D. (2020). Döngüsel Ekonomiye Geçişte Endüstriyel Simbiyozun Maliyetler Üzerine Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 29(3), 461-473.

El Naser, Y. H., Karayel, D., Ozkan, S. S., & Atali, G. (2017, September). Talaşlı İmalatta Otomatik Çapak Alma İşlemi için Endüstriyel Robot Kol Tasarımı. *In 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science* 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan).

Erdem, A. (2021). Döngüsel Ekonomi Kapsamında GSYİH ile Geri Dönüşüm İlişkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (67), 125-137.

Gedik, Y. (2020). Döngüsel ekonomiyi anlamak: teorik bir çerçeve. *Turkish Business Journal*, 1(2), 110-137.

Götze, U., Peças, P., & Richter, F. (2019). Design for eco-efficiency—a system of indicators and their application to the case of moulds for injection moulding. *Procedia Manufacturing*, 33, 304-311.

Hüseyin, C. (2018). Endüstriyel üretimde döngüsel çevre politikaları. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 111-122.

Kopan, M. (2023). Endüstriyel Atıksu Arıtmında Zeytin Çekirdeği Tozunun Doğal Pıhtılaştırıcı Olarak Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi (Doctoral dissertation).

Liu, C., Gao, M., Zhu, G., Zhang, C., Zhang, P., Chen, J., & Cai, W. (2021). Data driven eco-efficiency evaluation and optimization in industrial production. *Energy*, 224, 120170.

Önder, H. (2018). Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışında Yeni Bir Kavram: Döngüsel Ekonomi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (57), 196-204.

Özulucan, A., & Çeviren, S. M. Geri Kazanım Maliyetlerinin İşletme Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Gıda İşletmesi Örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2), 96-109.

Rice, E. W., Bridgewater, L., & American Public Health Association (Eds.). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). Washington, DC: American public health association.

Simsek, A., Beytekin, İ. D., & Bakan, G. (2018). Cleaner production applications in various industries: metal industry. *Environmental Research and Technology*, 1(3), 51-57.

Turhan, E., Kartum, G., & Özdemir, Y. (2018). Sürdürülebilir Üretim ve İşletme Uygulamaları. *Bucak İşletme Fakültesi Dergisi*, 1(1), 1-15.

Veral, E. S. (2021). Döngüsel ekonomi: engeller, stratejiler ve iş modelleri. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 8(1), 7-18.

Veral, E. S., & Yiğitbaşıoğlu, H. (2018). Avrupa Birliği atık politikasında atık yönetiminden kaynak yönetimi yaklaşımına geçiş yönelimleri ve döngüsel ekonomi modeli. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-19.

Veral, E. S. (2019). An evaluation on the circular economy model and the loops design in the context of waste management. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 18-27.