



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Medical Image Enhancement Based on Volumetric Tissue Segmentation Fusion (Uni-Stable-3D Method) İhab ELAFF	ENG	78 - 89
Development and Evaluation of the Corrosion Performance of EpoxyPalm Kernel Shell Ash Nanoparticle Coating for Mild Steel Oisakede Maureen Olere, Oisakede Emmanuel Eheledu	ENG	90 - 99
Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak Şarj İstasyonu Enerji İhtiyacının Karşıllanması: Teknik ve Ekonomik Analizi Muhammed Said YILMAZ, Mehmet Rıda TÜR, Davut ÖZHAN	TUR	100 - 111
Mevcut Betonarme Bir Kamu Binasının Taşıyıcı Sistem Güvenliğinin TBDY-2018'e Göre Araştırılması Kemal Altınay, R. Tuğrul ERDEM	TUR	112 - 123

İnceleme Makalesi / Review Article

A Mini-Review on SDR Based Radar Classification System: Recent Advances and Challenges Seçkin ÖNCÜ, Ali KARA	ENG	124 - 129
Üretim, İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Güç Kalitesi İçin Matematiksel Modellerin İncelenmesi Mehmet Rıda TUR, Mehmet Salih KAYA	TUR	130 - 140



RESEARCH ARTICLE

Medical Image Enhancement Based on Volumetric Tissue Segmentation Fusion (Uni-Stable-3D Method)

*  Ihab ELAFF

* Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Uskudar University, Istanbul, Turkey
 email: ihab.elaff@uskudar.edu.tr

HIGHLIGHTS

- *The Uni-Stable-3D is a new method for 3D medical image enhancement.*
- *The Uni-Stable-3D image is almost universal as it combines variety of algorithms points of views into one 3D probability map*
- *Uni-Stable-3D Images reduces boundary-overlapping among different tissues.*

GRAPHICAL ABSTRACT

The Uni-Stable-3D is a new method for 3D medical image enhancement which produces 3D Images of high contrast from the scanned anisotropic scaling images.

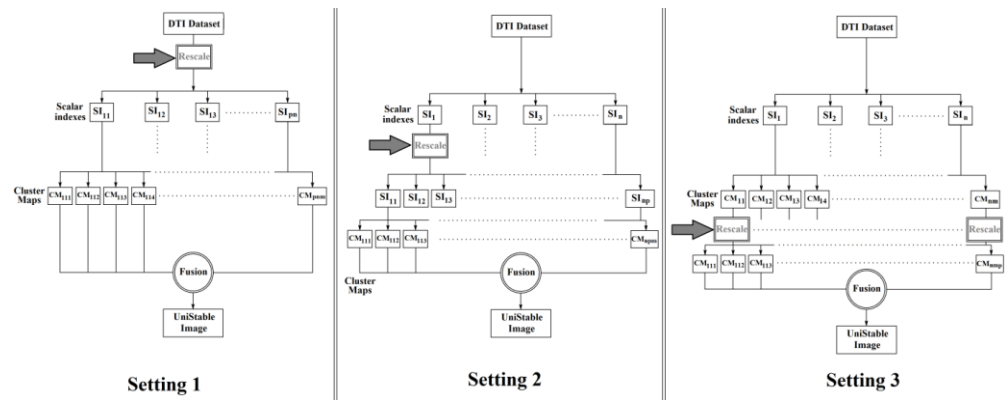


Figure Different settings of Uni-Stable-3D method

Keywords:

- Uni-Stable
- WM
- GM
- CSF
- Brain Segmentation
-

Article Info:

Received : 11 February 2023
 Accepted : 6 June 2023

DOI:
 10.53525/jster.1250050

***Correspondence:**
 Ihab ELAFF
ihab.elaff@uskudar.edu.tr
 Phone : +90 534 3617233

Aim of Article: Medical image enhancement based on 3D reconfiguring of anisotropic images scans to produce images of high contrast which are suitable for segmentation using any clustering algorithm.

Theory and Methodology: This is done by estimating some intermediate slices through resizing the original DTI scans. Rescaling has been achieved at three different levels: rescaling of eigenvalues of diffusion, rescaling the Scalar Indexes from the original eigenvalues, and rescaling the cluster maps of the segmentation of the original Scalar Indexes. Four interpolation methods have been employed at each level and four clustering algorithms have been employed in the process.

Findings and Results: Univeral and stable 3D medical images with high contrats.

Conclusion : The Uni-Stable-3D images are almost universal as they combine a variety of algorithms points-of-views into one 3D probability map. This reduces boundary-overlapping among different tissues, and hence improves the uniqueness of the segmentation problem solution.



RESEARCH ARTICLE

Medical Image Enhancement Based on Volumetric Tissue Segmentation Fusion (Uni-Stable-3D Method)

*  Ihab ELAFF

* Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Uskudar University, Istanbul, Turkey
email: ihab.elaff@uskudar.edu.tr

Citation:

Elaff, I. (2023). *Medical image enhancement based on volumetric tissue segmentation fusion (Uni-Stable 3D method)*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(2): 78-89. DOI: 10.53525/jster.1250050

HIGHLIGHTS

- *Novel technique for 3D medical image enhancement that is titled as: Uni-Stable-3D Images.*
- *The Uni-Stable-3D image is almost universal as it combines variety of algorithms points of views into one 3D probability map*
- *Uni-Stable-3D Images reduces boundary-overlapping among different tissues*

Article Info

Received : 11 February 2023

Accepted : 06 June 2023

DOI:

10.53525/jster.1250050

*Corresponding Author:

Ihab ELAFF

ihab.elaff@uskudar.edu.tr

Phone: +90 123 4567890

ABSTRACT

The Uni-Stable-3D is a new method for 3D medical image enhancement which produces 3D Images of high contrast from the DTI anisotropic images. This is done by estimating some intermediate slices through resizing the original scans. Rescaling has been achieved at three different levels: rescaling of eigenvalues of diffusion, rescaling the Scalar Indexes from the original eigenvalues, and rescaling the cluster maps of the segmentation of the original Scalar Indexes. Four interpolation methods have been employed at each level and four clustering algorithms have been employed in the process. The Uni-Stable-3D produces images which are almost universal as the method combines a variety of algorithms points-of-views into one 3D probability map. This reduces boundary-overlapping among different tissues, and hence improves the uniqueness of the segmentation problem solution. The stability factor of the Uni-Stable-3D images has been measured using maximum match analysis between the cluster maps which are generated from Uni-Stable-3D images by a variety of clustering methods with respect to true fact references for 5 different brains. The resultant standard deviations of Uni-Stable-3D images maximum match analysis in both threshold and tissue to brain ratio are much lower than Mean Diffusivity and Fractional Anisotropy scalar indexes for both CSF/non-CSF and WM/non-WM respectively.

Keywords: *Uni-Stable, WM, GM, CSF, Brain Segmentation*

I. INTRODUCTION

Computer-aided diagnosis (CAD) is considered one of the major research subjects in medical imaging and diagnostic radiology [1, 2]. With CAD, radiologists use the computer output as a "second opinion" and make the final decisions. The ability to produce high contrast medical images has its importance in diagnosing, evaluation and computer-based simulation of a certain tissue or organ.

Medical imaging such as CT-scan and MRI are

usually accomplished in an anisotropic manner where the planer resolution spacing and slice to slice spacing are (usually) different [3]. This makes the 2D based segmentation process of scans not able to provide the accurate 3D bounds of the tissues, where this shows the necessity for estimating some intermediate plans to solve that problem. The estimation of some intermediate plans requires 3D image resizing to be involved in the process.

In addition to the anisotropic spacing problem, the macroscale resolution of scanners [4, 5] causes



boundary-overlapping between neighbor tissues in medical images [6 – 8]. With those 2 problems, the estimation of an accurate 3D tissue's boundary becomes in demand.

When only 2D images of the original scans are employed for processing tissue in 3D, it would act like resizing this image using the nearest interpolation method. However, by applying other interpolation methods such as Linear, Cubic, Lanczos2 or Lanczos3 [9, 10], more accurate estimation for the intermediate plans would be expected. Linear interpolation estimates intermediate states over a tangent line between two measured states, while Cubic uses Gaussian smoothing curve and Lanczos methods depend on the Sinc function.

The most important image segmentation techniques are: threshold based methods, clustering based methods, edge based methods, region based methods, watershed based methods, Partial Differential Equation (PDE) based methods and Artificial Neural Network (ANN) based methods [11]. Clustering base methods such as Otsu algorithm [12], K-Means algorithm [13], Expectation Maximization (EM) algorithm [14], C-Means algorithm, Fuzzy C-Means (FCM) algorithm and Spatial constrained Fuzzy C-Means (SFCM) algorithm [15], Markov Random Field (MRF) algorithm and Iterated Conditional Modes (ICM) algorithm [16] are widely used with medical images.

It was reported that there is no unique solution to the segmentation problem, because of the effect of the used imaging modality on the segmentation process; different results are obtained by changing clustering method and/or the selected numbers of clusters [5, 7, 8, 15, 16]. Many models have been represented for 3D brain segmentation. Duy M. H. Nguyen et. al. produces a 3D brain tissue segmentation using Gaussian Mixture Models (GMMs), Convolution Neural Networks (CNNs) and Deep Neural Networks (DNNs)[17]. Yuankai Huo et.al. proposed the Spatially Localized Atlas Network Tiles (SLANT) method to distribute multiple independent 3D Fully Convolutional Networks (FCN) for high-resolution whole brain segmentation[18]. Fareeen Ramzan et.al. employ a network for the segmentation of multiple brain regions has been proposed that is based on 3D convolutional neural networks and utilizes residual learning and dilated convolution operations to efficiently learn the end-to-end mapping from MRI volumes to the voxel-

level brain segments[19]. Youyong Kong et.al. presents a novel algorithm for brain tissue segmentation based on supervoxel and graph filter. Firstly, an effective supervoxel method is employed to generate effective supervoxels for the 3D MRI image. Secondly, supervoxels are classified into different types of tissues based on filtering of graph signals [20]. Kamarujjaman represents a novel 3D unsupervised spatial fuzzy-based brain MRI volume segmentation technique in the presence of intensity inhomogeneity and noise. Instead of static masking, dynamic 3D masking has been proposed to measure the correlation among neighbors [21]. Results from stated methods targeting either high resolution scans or depend on one segmentation technique. According to our best knowledge, the present 3D segmentation methods don't consider the lost information in the spacing between slices, which in turn produce approximate results for volumetric shapes.

One solution in a former research [22] that has been developed to produce Uni-Stable images where segmentation results are relatively stable regardless of the use of the clustering method. The maximum match analysis of 5 brains for CSFUni and WMUni gives values 0.29 ± 0.002 and 0.39 ± 0.003 respectively. However, the Uni-Stable method, also, did not consider the spacing between slices. This research represents an improvement to the Uni-Stable method by re-producing medical image slices in a way to cover spaces between scanned slices using combinations of interpolation methods and cluster maps. This will re-generate volumetric 3D images which are universal and stable for the segmentation process using any algorithm and produce fewer overlapping errors.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Dataset

Datasets of this study have been obtained from John Hopkins Medical Institute website. These datasets consist of brains' DTI volume data where each brain is scanned in 50 slices with a resolution of 256×256 voxels per slice. In every slice, the voxel width and height are 0.9375 mm and the spacing between each successive slice is 2.5mm. Some scalar Indices (SI) for those DTI images have been generated, namely: Mean Diffusivity (MD), Fractional Anisotropy (FA), Rational Anisotropy (RA), Matisuia Anisotropy (MA), Linear Anisotropy (Cl), Spherical Anisotropy (Cs) , Volume Ratio (VR), Angular Anisotropy (AA), and Diffusion

Volume (DV) [4, 5, 6, 23 - 27].

B. Uni-Stable-3D Images

The lack of solution uniqueness in the medical image segmentation problem is because of different medical imaging types, the selected clustering algorithm, and interpolation method of rescaling its order where each setting has its own estimate. A new approach for 3D brain image segmentation based on interpolating anisotropic brain scans from Diffusion Tensor Imaging modality. As axial brain scans are usually accomplished in anisotropic spacing where the plane resolution spacing and slice to slice spacing are usually different, then 2D-based segmentation of brain tissues cannot provide accurate 3D bounds of the tissues. This is where 3D image interpolation should be involved in the process. The main concerns of the accurate 3D brain tissues are the suitable stage order of the interpolation in the process, the suitable interpolation methods and the suitable Scalar indexes for that job.

The Uni-Stable method [17] was originally developed for generating high contrast 2D images based on DTI scans, where the Uni-Stable method has been proved to be universal where many segmentation settings are considered, and their segmentation results are relatively independent of the applied clustering method, which makes it relatively stable. The process starts by producing different SI from eigenvalues of the DTI data, generating Cluster Maps (CM) from the generated SIs and finally fusing the generated CMs into one probability map, which is the Uni-Stable Image, where this process makes sure that common points will have more probability than less common points.

In the way to upgrade this method to a 3D version, a resizing stage would be added to estimate some intermediate slices between originally scanned ones, which in turn will solve the anisotropic spacing problem. The selected interpolation method of the resize operation and its order in the process plays a basic role that affects the Uni-Stable-3D image generation as shown in Figure 1. The first setting (Setting 1) is resizing the eigenvalues of the DTI images before the other stages. The 2nd (Setting 2) is to generate SI's from the original eigenvalues and then resize the SI maps. The last one (Setting 3) is to generate the CM's from the original SIs and then resize them before the fusion process. Four interpolation methods are tested for 3D image resizing: Linear, Cubic, Lanczos2 and Lanczos3. For N SIs, which contain clear features about the required tissues; M

clustering methods with P different Interpolation methods generate $N \times M \times P$ estimates of normalized CMs. Normalized Uni-Stable-Image IMGUni is generated by fusing these CMs together, where:

$$IMG_{Uni} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P CM_{nmp}}{\text{Max}(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P CM_{nmp})} \dots\dots\dots (1)$$

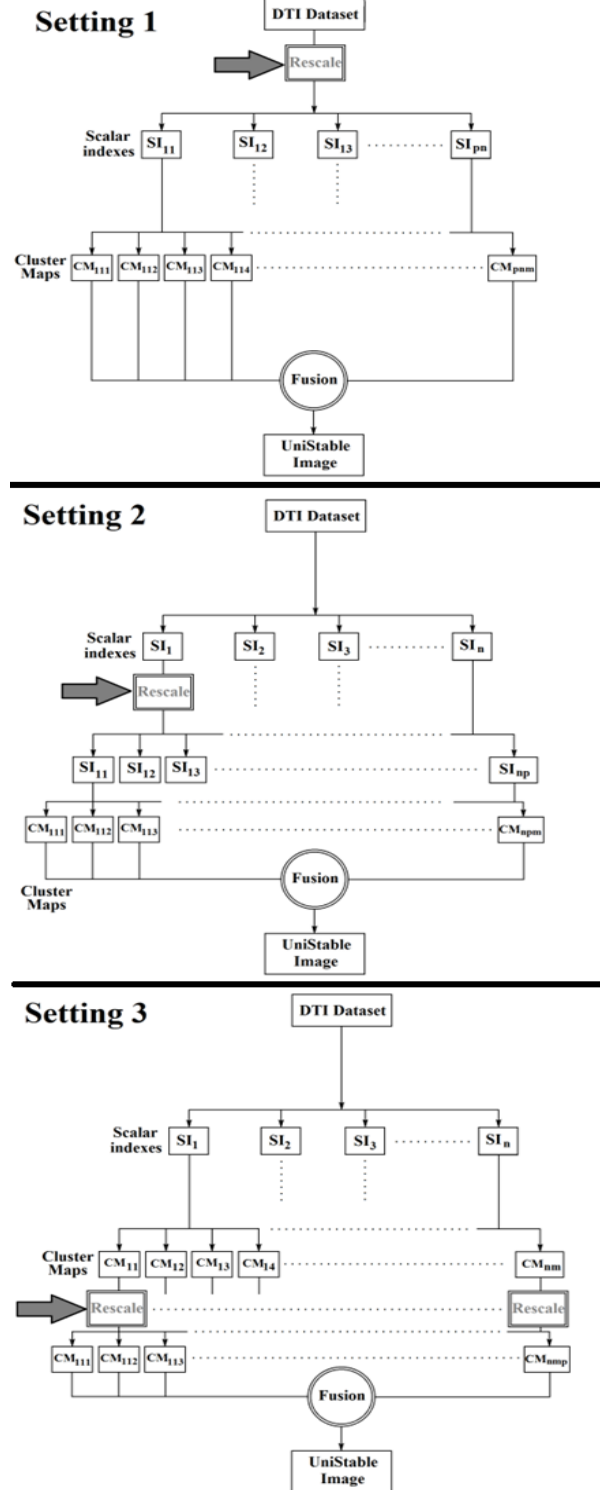


Figure 1 Different settings of Uni-Stable-3D method
 In this study, brain data has been resized from 256x256x50 to 256x256x200 using three different settings to estimate some intermediate slices between originally scanned ones.

C. CSF/non-CSF 3D Uni-Stable-Image generation

For generating CSF/non-CFS 3D-Uni-Stable-Images (CSFUni), some SI's are used, namely: MD, DV, λ_1 , λ_2 , and λ_3 . Those SI has been clustered using 4 different clustering algorithms, namely: Otsu, KM, FCM and SFCM. Rescaling using four interpolation methods has been tested in the process with the different location. For each setting, 80 different cluster maps are produced. Cluster maps are then fused into one image as shown in Figure 2.

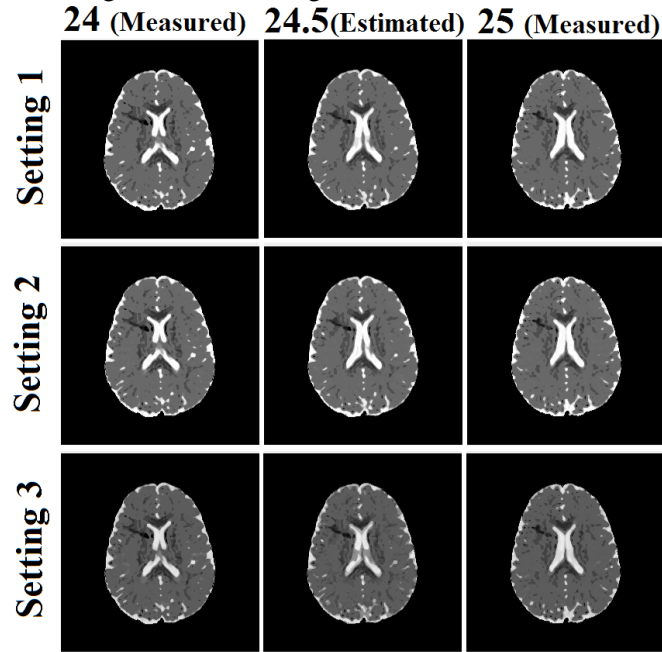


Figure 2 CSF/non-CSF Uni-Stable-3D images using different settings for 2 measured slices and one estimated slice in the middle.

Table 1. Different Settings for CSF/non-CSF Uni-Stable-3D Image Generation.

	Rescale Level	Interpolation Methods	Clustering Methods	Scalar Indexes	Number of Fused Cluster Maps
Setting 1	Eigenvalues Rescale	Linear, Cubic, Lanczos2, Lanczos3	Otsu, K-Means, FCM, SFCM	MD, DV, λ_1 , λ_2 , λ_3	80
Setting 2	Scalar Indexes Rescale	Linear, Cubic, Lanczos2, Lanczos3	Otsu, K-Means, FCM, SFCM	MD, DV, λ_1 , λ_2 , λ_3	80
Setting 3	Cluster Maps Rescale	Linear, Cubic, Lanczos2, Lanczos3	Otsu, K-Means, FCM,	MD, DV, λ_1 , λ_2 , λ_3	80

		SFCM	
--	--	------	--

D. WM/non-WM 3D Uni-Stable-Image generation

For generating WM/non-WM 3D-Uni-Stable-Images (WMUni), some SI's are used, namely: FA, RA, AA, MA, and CI. Those SI has been clustered using 4 different clustering algorithms, namely: Otsu, KM, FCM and SFCM. Rescaling using four interpolation methods has been tested in the process with the different location. For setting 1, 40 different cluster maps are produced because only two interpolation methods re used and 80 different cluster maps are use in other settings. More justification would be indicated in the discussion and conclusion part about that. Finally, cluster maps are then fused into one image as shown in Figure 3.

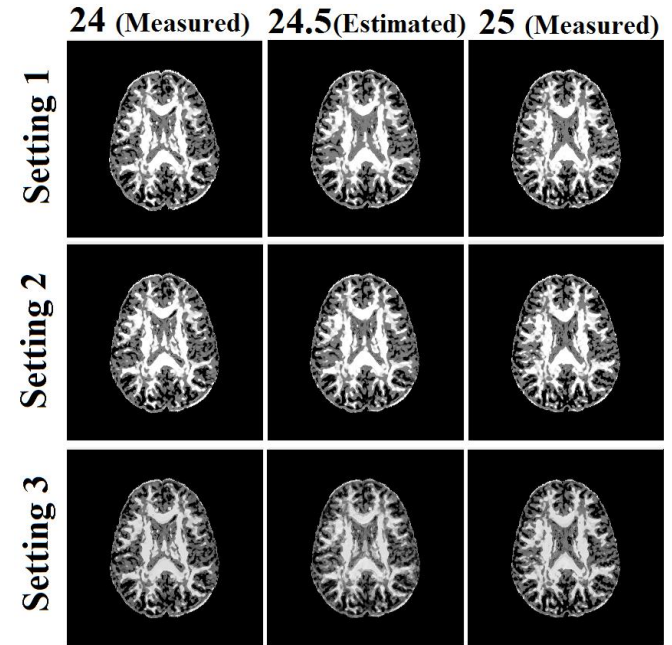


Figure 3 WM/non-WM Uni-Stable-3D images using different settings for 2 measured slices and one estimated slice in the middle.

Table 2. Different Settings for WM/non-WM Uni-Stable-3D Image Generation

	Rescale Level	Interpolation Methods	Clustering Methods	Scalar Indexes	Number of Fused Cluster Maps
Setting 1	Eigenvalues Rescale	Linear Cubic	Otsu, K-Means, FCM, SFCM	FA, RA, AA, MA, CI	40
Setting 2	Scalar Indexes Rescale	Linear Cubic, Lanczos2, Lanczos3	Otsu, K-Means, FCM, SFCM	FA, RA, AA, MA, CI	80
Setting 3	Cluster Maps Rescale	Linear Cubic, Lanczos2,	Otsu, K-Means, FCM,	FA, RA, AA,	80



		Lanczos3	SFCM	MA, CI	
--	--	----------	------	--------	--

III. RESULTS

A. Reference Model

The usual SIs which are used in the brain image segmentation are FA and MD. For normalized MD images, a threshold with values around 0.3 can efficiently separate CSF/non-CSF [28] and for normalized FA images, a threshold with values between 0.25 and 0.45 can separate WM/non-WM [29]. As the original scans reflect the solid facts about the scans, so they should be taken as a comparison reference. For size consistency, the nearest interpolation is applied to resize the original FA and MD.

B. Non-Uni-Stable 3D images Segmentation

For the regular process, FA and MD are resized using linear interpolation or cubic interpolation after being calculated from the original eigenvalues [30]. However, more settings have been explored where FA and MD are resized according to the following tables:

Table 3. Different Settings for MD rescaling.

	Rescale Level	Interpolation Methods
MD1.1	Eigenvalues Rescale	Linear
MD1.2	Eigenvalues Rescale	Cubic
MD2.1	Scalar Indexes Rescale	Linear
MD2.2	Scalar Indexes Rescale	Cubic

Table 4. Different Settings for FA rescaling.

	Rescale Level	Interpolation Methods
FA1.1	Eigenvalues Rescale	Linear
FA1.2	Eigenvalues Rescale	Cubic
FA2.1	Scalar Indexes Rescale	Linear
FA2.2	Scalar Indexes Rescale	Cubic

And the four mentioned clustering methods are also applied on those images with maximum match as shown in Figure 4 and Figure 5. It is noticed that each clustering method has different threshold point and this is the normal case where non unique solution is obtained.

Referring to Maximum-Match analysis for 5 brains, the average mean and the average standard deviation of the clustering algorithm and regular threshold method and the CSF to Brain and WM to Brain ratios are given in Tables 5 and Table 6

Table 5 Average Mean and Average standard deviation of 5 human brains for maximum match Threshold value and CSF to Brain ratio based on MD Images of different settings

	Threshold	CSF to Brain Ratio
MD1.1	0.306±0.0118	18.75±1.07
MD1.2	0.306±0.0125	18.64±1.06
MD2.1	0.306±0.0118	18.75±1.07
MD2.2	0.306±0.0125	18.64±1.06

Table 6 Average Mean and Average standard deviation of 5 human brains for maximum match Threshold value and WM to Brain ratio based on FA Images of different settings

	Threshold	WM to Brain Ratio
FA1.1	0.371±0.0127	29.15±1.80
FA1.2	0.375±0.0142	28.57±1.92
FA2.1	0.355±0.0203	32.71±8.58
FA2.2	0.368±0.0109	28.26±1.56

C. 3 Uni-Stable 3D images Segmentation

Maximum-Match analysis for 5 brains is repeated again for 3D Universal images under the 3 settings (Figure 6, Figure 7, Table 7 and Table 8). In both Figure 6 and Figure 7: Otsu, K-Means and FCM curves are overlapping. The SFCM is shifted a little bit downward below them; however, all of them are aligned almost to the same threshold point. This indicates that segmentation results are almost independent from the clustering algorithm.

Quantitatively, the average mean and average standard deviation of 5 human brains for maximum match the threshold value and CSF to brain ratio based on 3D Universal images of both CSF/non-CSF and WM/non-WM under the different three settings are demonstrated in Table 7 and Table 8 respectively. The average mean values are almost the same such as Table 5 and Table 6; however, the average standard-deviation values are much lower than in the MD and FA cases. This indicates that segmentation of the Uni-Stable-3D images is almost independent of the clustering method.

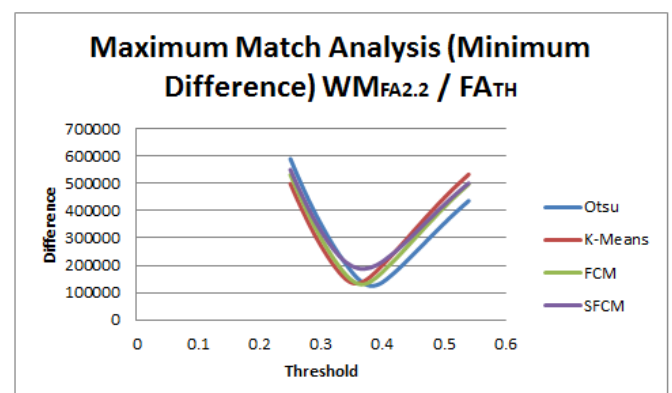
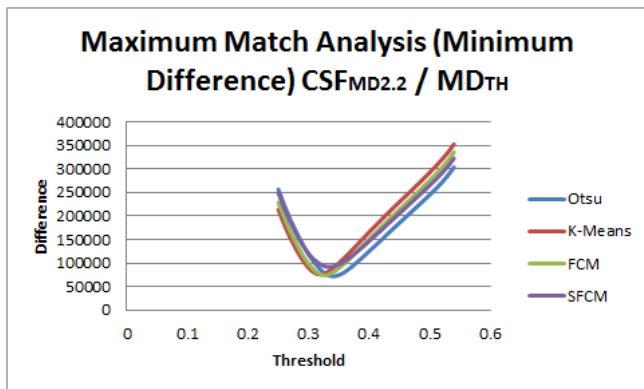
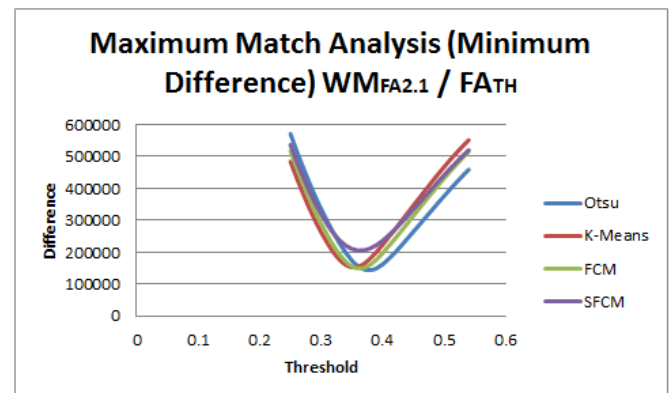
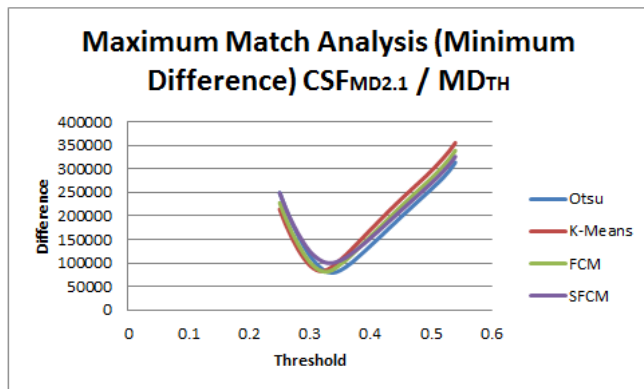
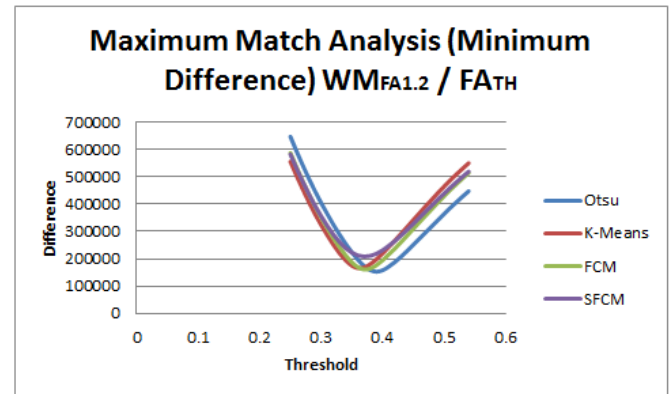
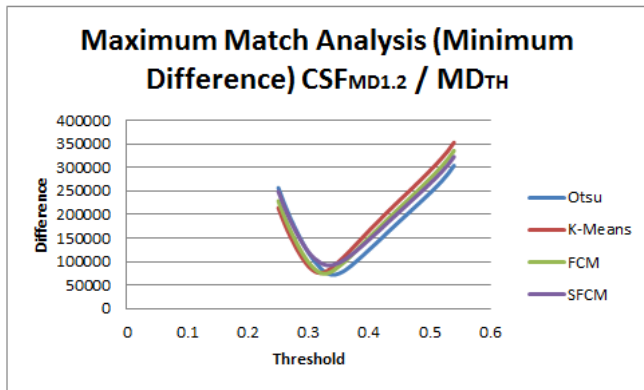
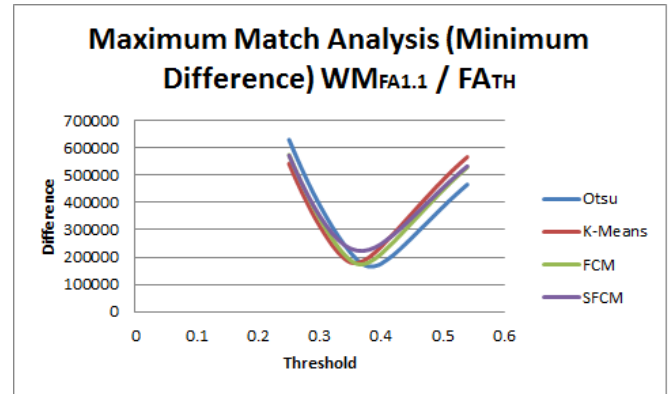
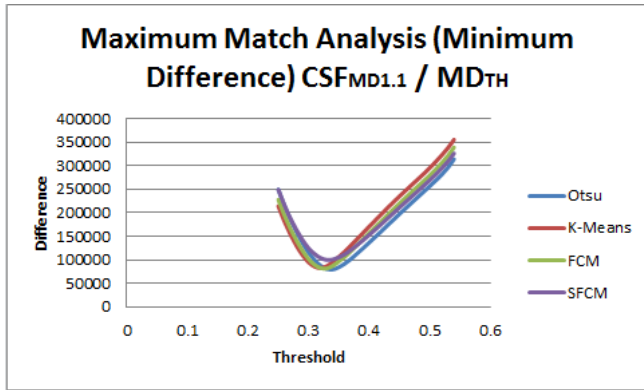


Figure 4 Maximum match analysis for CSF using MD Cluster Maps.

Figure 5 Maximum-Match analysis for WM using FA Cluster Maps.

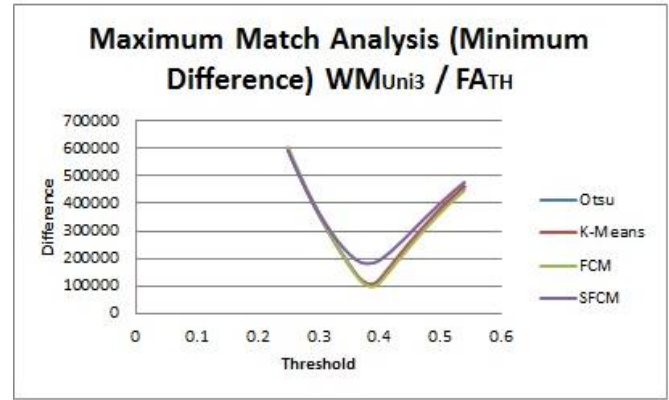
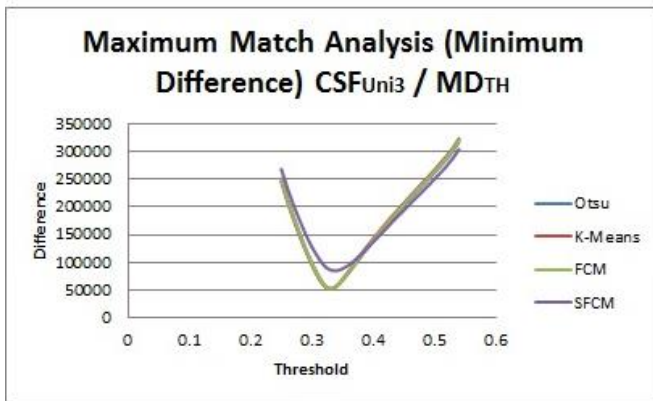
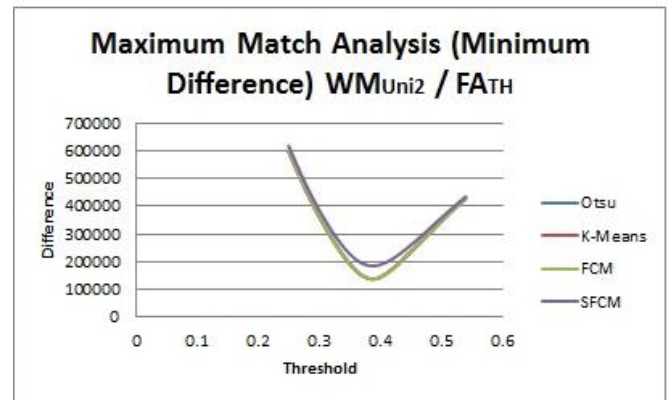
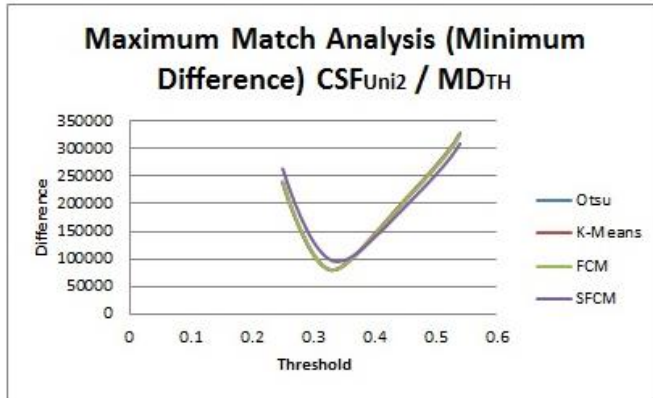
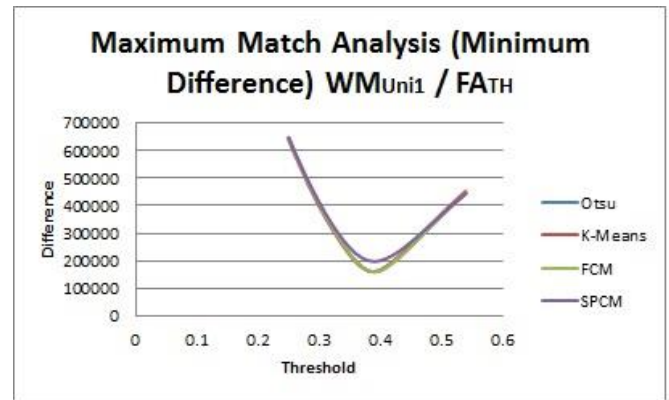
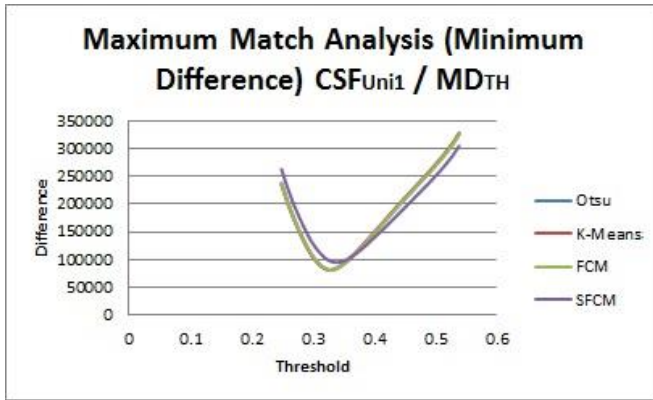


Figure 6 Maximum match analysis for CSF using CSF_{Uni} Cluster Maps

Figure 7 Maximum match analysis for WM using WM_{Uni} Cluster Maps



Table 7 Average Mean and Average standard deviation of 5 human brains for maximum match Threshold value and CSF to Brain ratio based on 3D Universal CSF/non-CSF Images of different settings

		Threshold		CSF to Brain Ratio	
		AVG	STD	AVG	STD
CSF _{Uni1}	Brain1	0.3325	0.0050	17.80%	0.4570
	Brain2	0.2925	0.0050	17.82%	0.5550
	Brain3	0.3075	0.0050	18.99%	0.4440
	Brain4	0.3025	0.0050	21.59%	0.4890
	Brain5	0.3125	0.0050	16.01%	0.4200
	Average	0.310 ± 0.0050		18.44% ± 0.4730	
CSF _{Uni2}	Brain1	0.3325	0.0050	17.83%	0.3450
	Brain2	0.2925	0.0050	17.72%	0.4740
	Brain3	0.3075	0.0050	19.09%	0.4140
	Brain4	0.3025	0.0050	21.64%	0.4260
	Brain5	0.3125	0.0050	16.03%	0.3550
	Average	0.310 ± 0.0050		18.46% ± 0.4028	
CSF _{Uni3}	Brain1	0.3325	0.0050	17.12%	0.2830
	Brain2	0.2925	0.0050	17.20%	0.4300
	Brain3	0.3025	0.0050	18.42%	0.3100
	Brain4	0.295	0.0058	21.13%	0.3790
	Brain5	0.3025	0.0050	16.10%	0.2740
	Average	0.305 ± 0.0052		17.99% ± 0.3352	

Table 8 Average Mean and Average standard deviation of 5 human brains for maximum match Threshold value and WM to Brain ratio based on 3D Universal WM/non-WM Images of different settings

		Threshold		WM to Brain Ratio	
		AVG	STD	AVG	STD
WM _{Uni1}	Brain1	0.39	0.0000	26.03%	0.3980
	Brain2	0.39	0.0000	28.41%	0.4230
	Brain3	0.39	0.0100	29.34%	0.8500
	Brain4	0.41	0.0050	25.31%	0.2360
	Brain5	0.36	0.0000	26.34%	0.5250
	Average	0.3865 ± 0.0030		27.085% ± 0.4864	
WM _{Uni2}	Brain1	0.39	0.0000	25.47%	0.3030
	Brain2	0.38	0.0000	27.80%	0.3550
	Brain3	0.38	0.0096	28.45%	0.7580
	Brain4	0.40	0.0000	24.81%	0.1660
	Brain5	0.36	0.0000	25.50%	0.3250
	Average	0.3825 ± 0.0019		26.4065% ± 0.3814	
WM _{Uni3}	Brain1	0.39	0.0050	26.14%	0.2620
	Brain2	0.39	0.0058	27.57%	0.2810
	Brain3	0.36	0.0350	33.39%	4.3550
	Brain4	0.40	0.0050	24.69%	0.2650
	Brain5	0.36	0.0000	25.46%	0.2100
	Average	0.38 ± 0.0102		27.4505% ± 1.0746	

For CSF/non-CSF Uni-Stable-3D images, Setting 3 provides the lowest average standard deviations and hence the most stable setup. For WM/non-WM Uni-Stable-3D images, Setting 2 provides the most stable setup.

IV. RESULT AND DISCUSSIONS

The Uni-Stable-3D is a new method for 3D medical image enhancement which produces images of high contrast from the scanned anisotropic images. It is basically an upgraded version of the former Uni-Stable method. This is done by estimating some intermediate slices by resizing the original scans. Rescaling has been achieved at three different levels: rescaling of eigenvalues of diffusion, rescaling the Scalar Indexes from the original eigenvalues, and rescaling the cluster maps of the segmentation of the original Scalar Indexes. Four different interpolation methods and four

different clustering algorithms have been employed in the process.

The Uni-Stable-3D images are almost universal as they combine a variety of algorithms point-of-view into one 3D probability map. This reduces boundary-overlapping among different tissues, and hence improves the uniqueness of the segmentation problem solution.

The stability factor of the Uni-Stable-3D Images is measured by maximum match analysis between the cluster maps which are generated from Uni-Stable-3D images using a variety of clustering methods with respect to true fact references. For CSF/non-CSF, the true fact reference is taken as the threshold of MD scalar index's histogram after being resized using the nearest interpolation and again, for WM/non-WM, the true fact reference is taken as the threshold of FA scalar index's histogram after being resized using nearest

interpolation. The same is repeated again but using cluster maps which are generated by applying some clustering methods to MD and FA.

The resultant standard deviations of Uni-Stable-3D images maximum match analysis in both threshold and tissue to brain ratio (tables 7 and 8) are much lower than MD and FA (tables 5 and 6). This reflects the stability of the Uni-Stable-3D images and indicates that they are almost clustering-algorithm-independent. The same process was repeated for 5 brains and the results were also the same.

Referring to the former research [22] that has been developed to produce Uni-Stable images based on multi-2D slices; for the same 5 brains, maximum match analysis for CSFUni and WMUni, there are no significant changes compared to Uni-Stable-3D method in mean values and SD values are still relatively very small in both cases (Table 9). Those minor differences are due to the interpolation process used in the Uni-Stable-3D with the advantage of covering the gaps between 2 successive slices.

Table 9 Comparison between clustering results of Uni-Stable method and Uni-Stable-3D method.

CSF/non-CSF		WM/non-WM	
CSF _{Uni}	0.29±0.002	WM _{Uni}	0.39±0.003
CSF _{Uni1}	0.310 ± 0.0050	WM _{Uni1}	0.3865 ± 0.0030
CSF _{Uni2}	0.310 ± 0.0050	WM _{Uni2}	0.3825± 0.0019
CSF _{Uni3}	0.305 ± 0.0052	WM _{Uni3}	0.38 ± 0.0102

Cubic, Lanczos2 and Lanczos 3 produce some negative values because of their kernel function, which can be eliminated. However, Lanczos2 and Lanczos3 Interpolation methods might not be suitable to be used in the level of resizing the eigenvalues because they depend on Sinc function. As the Sinc function oscillates, some small positive values could be produced in the background zone. Because of the rational nature of WM/non-WM scalar index calculations, extra regions would be generated in the background zone such as FA images (Figure 8). However, for integration based scalar indexes which are used to find CSF/non-CSF scalar indexes such as MD, these small values have almost no effect (Figure 8).

Finally, it is concluded that the Uni-Stable-3D method might be a straightforward solution for the

segmentation problem of medical images, where the segmentation process can be achieved using only one Uni-Stable-3D image and any clustering method.

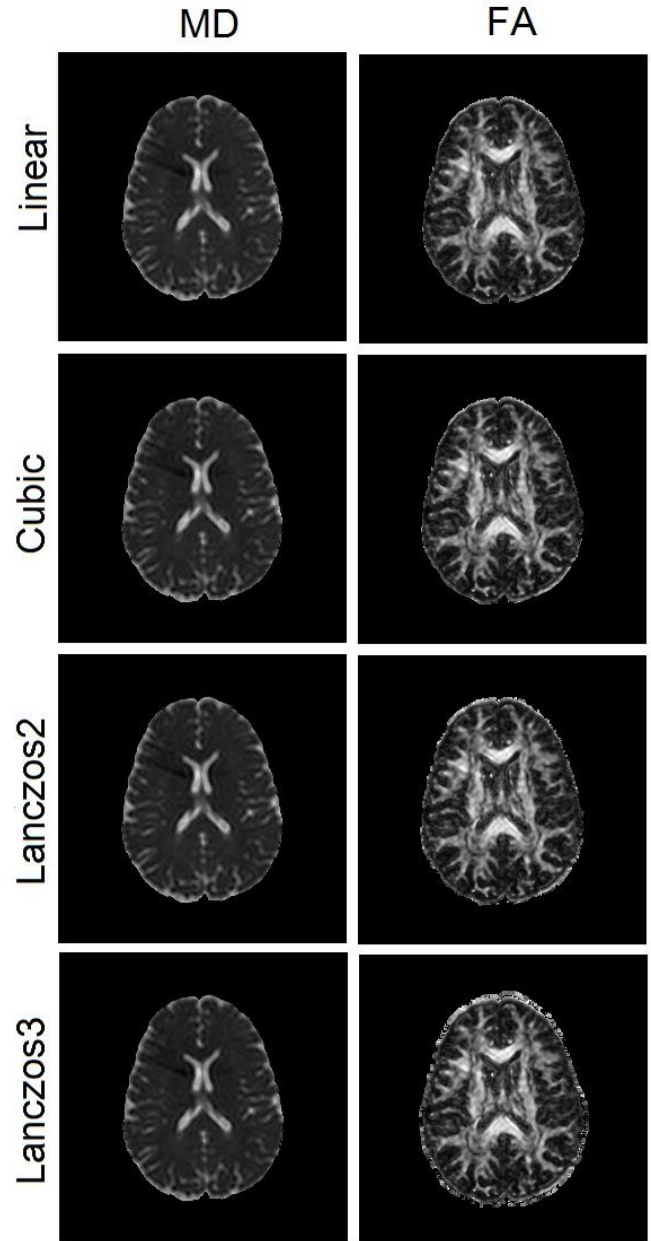


Figure 8 The Effect of some Interpolation methods for eigenvalues on the generated scalar indexes.

CONFLICTS OF INTEREST

They reported that there was no conflict of interest between the authors and their respective institutions.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS

In the studies carried out within the scope of this article, the rules of research and publication ethics were followed.



ACKNOWLEDGMENT

Laboratory of Brain Anatomical MRI – Johns Hopkins Medical Institute at Johns Hopkins University for provision of DT-MRI data and DTI-Studio utility.

REFERENCES

- [1] Doi K., Computer-aided diagnosis in medical imaging: Historical review, current status and future potential. *Computerized Medical Imaging and Graphics*. 2017; 31(4):198-211. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2007.02.002
- [2] Li Q, Nishikawa RM, editors. *Computer-Aided Detection and Diagnosis in Medical Imaging*. Taylor & Francis, CRC Press, New York; 2015.
- [3] Neubert A, Salvado O, Acosta O, Bourgeat P, Frapp J. Constrained reverse diffusion for thick slice interpolation of 3D volumetric MRI images. *Computerized Medical Imaging and Graphics* 2012; 36(2): 130-138. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2011.08.004.
- [4] Mori S. *Introduction to Diffusion Tensor Imaging*. 1st ed., Oxford, UK: Elsevier, 2007.
- [5] Liu T, Li H, Wong K, Tarokh A, Guo L, Wong S. Brain Tissue Segmentation Based on DTI Data. *Neuroimage* 2007; 38: 114-23. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.07.002
- [6] Zarei M, Johansen Berg H, Matthews PM. Diffusion Tensor Imaging and Tractography in Clinical Neurosciences. *Iran J Radiol* 2003; 1: 45-52.
- [7] Khotanlou H, Colliot O, Atif J, Bloch I. 3D Brain Tumor Segmentation in MRI Using Fuzzy Classification, Symmetry Analysis and Spatially Constrained Deformable Models. *Fuzzy Set Syst* 2009; 160: 1457-1473. DOI:10.1016/j.fss.2008.11.016
- [8] Dubey RB, Hanmandlu M, Gupta SK, Gupta SK. The Brain MR Image Segmentation Techniques and use of Diagnostic Packages. *Acad Radiol*. 2010; 17: 658 – 671. DOI:10.1016/j.acra.2009.12.017
- [9] Getreuer P. *Linear Methods for Image Interpolation, Image Processing On Line*, 2011; 1:238–259. DOI:10.5201/ipol.2011.g_lmii
- [10] Glassner AS. *Graphics Gems*. 1st ed., Academic Press Inc., 1993.
- [11] Dhal KG, Das A, Ray S, Galvez J, Das S. Nature Inspired Optimization Algorithms and Their Application in Multi Thresholding Image Segmentation. *Archives of Computational Methods in Engineering* (2020) 27:855–888. DOI: 10.1007/s11831-019-09334-y
- [12] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE T Syst Man Cyb* 1979; 9: 62–66. DOI: 10.1109/TSMC.1979.4310076
- [13] Wagsta K, Cardie C, Rogers S, Schroedl S. .Constrained K-means Clustering with Background Knowledge. In: Proc. of the Eighteenth International Conference on Machine Learning (ICML 2001). 2001 ;1: 577-584.
- [14] Dempster AP, Laird NM, Rubin DB. Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm. *J R Stat Soc* 1977; 39: 1–38. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1977.tb01600.x
- [15] Wen Y, He L, Von Deneen KM, Lu Y. Brain tissue classification based on DTI using an improved Fuzzy C-means algorithm with spatial constraints. *Magn Reson Imaging* 2013; 31: 1623-1630. DOI: 10.1016/j.mri.2013.05.007
- [16] Demirkaya O, Asyali MK, Sahoo PK. *Image Processing with MATLAB: Application in Medicine and Biology*. USA: CRC Press, 2009.
- [17] Nguyen DMH, Vu HT, Ung HQ, Nguyen BT. 3D-brain segmentation using deep neural network and Gaussian mixture model. In Proc. IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vis. (WACV). 2017; 1: 815–824. DOI:10.1109/WACV.2017.96
- [18] Huo Y, Xu Z, Xiong Y, Aboud K, Parvathaneni P, Bao S, Bermudez C, Resnick SM, Cutting LE, Landman BA. 3D whole brain segmentation using spatially localized atlas network tiles. *NeuroImage* 2019; 194: 105-119. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.03.041
- [19] Ramzan F, Khan MUG, Iqbal S, Saba T, Rehman A. Volumetric Segmentation of Brain Regions From MRI Scans Using 3D Convolutional Neural Networks. *IEEE Access*. 2020; 8:103697-103709. DOI:10.1109/ACCESS.2020.2998901
- [20] Kong Y, Chen X, Wu J, Zhang P, Chen Y, Shu H. Automatic brain tissue segmentation based on graph filter. *BMC Med Imaging*. 2018; 18(1):9. DOI:10.1186/s12880-018-0252-x
- [21] Kamarujjaman and Maitra M. 3D unsupervised modified spatial fuzzy c-means method for segmentation of 3D brain MR image. *Pattern Anal Applic* 2019; 22: 1561–1571. DOI:10.1007/s10044-019-00806-2
- [22] Elaff I, El-Kemany A, Kholif M. Universal and stable medical image generation for tissue segmentation (The Unistable method). *Turk J Electr Eng & Comp Sci* 2017; 25: 1070-1081. DOI:10.3906/elk-1509-100.



[23] O'Donnell LJ, Westin CF. An Introduction to Diffusion Tensor Image Analysis. *Neurosurgery Clinics of North America*. 2011; 22(2):185-196. DOI: 10.1016/j.nec.2010.12.004

[24] Kingsley PB. Introduction to diffusion tensor imaging mathematics: Part I. Tensors, rotations, and eigenvectors. *Concept Magn. Reson*. 2006; 28:101–122. DOI: 10.1002/cmr.a.20048

[25] Basser PJ, Mattiello J, LeBihan D. MR Diffusion Tensor Spectroscopy and Imaging. *Biophys J* 1994; 66: 259-267. DOI: 10.1016/S0006-3495(94)80775-1

[26] Basser PJ, Pierpaoli C. Microstructural and Physiological Features of Tissues Elucidated by Quantitative-Diffusion-Tensor MRI. *J Magn Reson* 1996; 111: 209–219. DOI: 10.1006/jmrb.1996.0086

[27] Vilanova A, Zhang S, Kindlmann G, Laidlaw D. An Introduction to Visualization of Diffusion Tensor Imaging and Its Applications. In: Weickert, Joachim, Hagen, Hans. *Visualization and Processing of Tensor Fields*. Berlin Heidelberg: Springer, 2005. pp 121 – 153.

[28] Holtmannspotter M, Peters N, Opherk C, Martin D, Herzog J, Bruckmann H, Samann P, Gschwendtner A, Dichgans M. Diffusion Magnetic Resonance Histograms as a Surrogate Marker and Predictor of Disease Progression in CADASIL: A Two-Year Follow-Up Study. *Stroke* 2005; 36: 2559-2565. DOI: 10.1161/01.STR.0000189696.70989.a4.

[29] Seehaus A, Roebroeck A, Bastiani M, Fonseca L, Bratzke H, Lori N, Vilanova A, Goebel R, Galuske R. Histological validation of high-resolution DTI in human post mortem tissue. *Front Neuroanat*; 2015; 9:98. DOI: 10.3389/fnana.2015.00098

[30] Dyrby TB, Lundell H, Burke MW, Reislev NL, Paulson OB, Ptito M, Siebner HR. Interpolation of diffusion weighted imaging datasets. *Neuroimage*, 2014: 103:202–213. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.09.005

RESEARCH ARTICLE

Development and Evaluation of the Corrosion Performance of Epoxy-Palm Kernel Shell Ash Nanoparticle Coating for Mild Steel

 ¹ Oisakede Maureen Olere,  ² Oisakede Emmanuel Eheledu

^{*}University of Benin, Faculty of Engineering, Materials and Metallurgical Engineering Department, Benin City, Nigeria
email. maureen.oisakede@uniben.edu orcid.0000-0002-3795-9915

²University of Delta, Faculty of Engineering, Civil and Water Resources Engineering Department, Agbor, Nigeria
email. emmanuel.oisakede@unidel.edu.ng orcid.0009-0007-4088-9042

HIGHLIGHTS

- *Effect and importance of the corrosion performance of epoxy-palm kernel shell ash nanoparticle coating for mild steel*
- *Mild Steel should be coated effectively to prevent corrosion*
- *A Corrosion protection efficiency of 98.62% was obtained for the mild steel when coated with epoxy-5% wt palm kernel ash nanoparticles.*
- *The coating helped to cover the surface of the mild steel and made it passive to corrosion attack*

Keywords:

- Mild steel
- Nanoparticles
- Epoxy
- Palm kernel shell ash
- Corrosion protection

GRAPHICAL ABSTRACT

In this study, the effect of the addition of palm kernel shell ash nanoparticles in epoxy as a coating for mild steel was studied. 1, 2, 3, 4 and 5wt% palm kernel shell ash nanoparticles were added to epoxy. The coating was done using spraying method. Corrosion protection efficiency of 98.62% was obtained for the mild steel when coated with epoxy-5% weight Palm Kernel Shell ash nanoparticle. The substrate showed more tendencies to pitting corrosion than the coated samples. This study has established that epoxy-5wt%PKSAnp have good anti-corrosion properties.

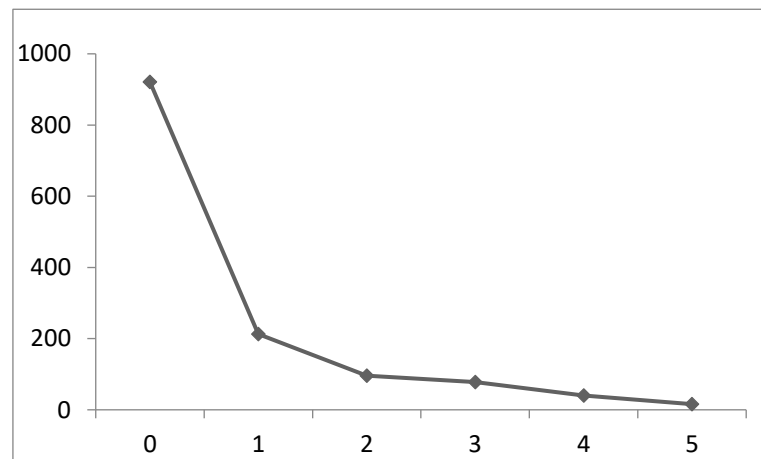


Figure A. Variation of corrosion rate with percentage weight of coating materials

Article Info:

Received : 2023-June-07

Accepted : 2023-Aug-05

DOI: 10.53525/jster.1248496

*Correspondence:

Maureen Oisakede
maureen.oisakede@uniben.edu
Phone: +23408033632544

Aim of Article : *The aim of this study was to develop and evaluate the corrosion performance of epoxy-palm kernel shell ash nanoparticle coating for mild steel*

Theory and Methodology : *Palm kernel shell ash nanoparticle was produced using the Sol gel method. 1, 2, 3, 4 and 5wt% palm kernel shell ash nanoparticles were added to epoxy. The coating was done using spraying method and the corrosion rate was evaluated.*

Findings and Results: *Coating mild steel with epoxy-5wt%PKSAnp have good anti-corrosion properties.*

Conclusion: *A Corrosion protection efficiency of 98.62% was obtained for the mild steel when coated with epoxy-5% wt palm kernel ash nanoparticles*



RESEARCH ARTICLE

Development and Evaluation of the Corrosion Performance of Epoxy-Palm Kernel Shell Ash Nanoparticle Coating for Mild Steel

¹ Maureen Olere Oisakede, ² Emmanuel Eheledu Oisakede

University of Benin, Faculty of Engineering, Materials and Metallurgical Engineering Department, Benin City, Nigeria

email. maureen.oisakede@uniben.edu orcid.0000-0002-3795-9915

²University of Delta, Faculty of Engineering, Civil and Water Resources Engineering Department, Agbor, Nigeria

email. emmanuel.oisakede@unidel.edu.ng orcid.0009-0007-4088-9042

Citation:

Oisakede M.O., Oisakede E. E.. (2023). Development and Evaluation of the Corrosion Performance of Epoxy-Palm Kernel Shell Ash Nanoparticle Coating for Mild Steel, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(2): 90-99. DOI: 10.53525/jster.1248496

HIGHLIGHTS

- Effect and importance of the corrosion performance of epoxy-palm kernel shell ash nanoparticle coating for mild steel
- Mild Steel should be coated effectively to prevent corrosion
- A Corrosion protection efficiency of 98.62% was obtained for the mild steel when coated with epoxy-5% wt palm kernel ash nanoparticles
- The coating helped to cover the surface of the mild steel and made it passive to corrosion attack

Article Info

Received : 2023-June-07

Accepted : 2023-Aug-05

DOI:

10.53525/jster.1248496

*Corresponding Author:

Maureen Oisakede
maureen.oisakede@uniben.edu
uniben.edu

Phone : +23408033632544

ABSTRACT

The effect of the addition of palm kernel shell ash nanoparticles in epoxy as a coating for mild steel was studied. The protection of steel against corrosion is of importance to the industry and the world at large. Nanoparticles due to their large surface areas have been shown to be excellent materials as they are good absorbents of coating pigments. Palm kernel shells are readily available and easily accessible and they contain calcium which easily combines with epoxy to give some resistance to corrosion attack. Palm kernel shell ash nanoparticle was produced using the Sol gel method. 1, 2, 3, 4 and 5% weight of palm kernel shell ash nanoparticles were added to epoxy. The coating was done using spraying method. Corrosion protection efficiency of 98.62% was obtained for the mild steel when coated with epoxy-5% weight of palm kernel shell ash nanoparticles. The substrate showed more tendencies to pitting corrosion than the coated samples. This study has established that epoxy-5% weight of palm kernel shell ash nanoparticles have good anti-corrosion properties.

Keywords: Mild steel, Nanoparticles, Epoxy, Palm kernel shell ash, Corrosion protection

I. INTRODUCTION

Several processes have been employed to protect metallic substances from corrosion attack. Polymeric coatings are widely used to control corrosion of metal structures, however, due to weak resistance of polymer coating against penetration of electrolyte and thus penetration of corrosive solution to the metal/coating interface, voids, defects and blistering can occur and

corrosion resistance of the coating is reduced. Due to weak resistance of polymer coating against penetration of electrolyte and thus penetration of corrosive solution to the metal/coating interface, voids, defects and blistering can occur and corrosion resistance of the coating is reduced [1]. The effectiveness of the coating is typically dependent on the fundamental properties of the sacrificial pigments, barrier effect, organic film,



presence of inhibitors and the interface interaction as regards observance [2].

Epoxy resins, a common polymeric coating is susceptible to damage by surface abrasion and wear and also act as pathways accelerating the ingress of water, oxygen and aggressive species onto the metallic substrate, resulting in its localized corrosion [3]. These can be enhanced by the incorporation of a second phase that is miscible with the epoxy polymer, for instance, inorganic filler particles at nanometer scale can be dispersed within the epoxy resin matrix to form an epoxy nano composite. The incorporation of nanoparticles into epoxy resins offers environmentally benign solutions to enhancing the integrity and durability of coatings, since the fine particles dispersed in coatings can fill cavities and cause crack bridging, crack deflection and crack bowing. Nanoparticles can prevent disaggregation of epoxy during curing, resulting in a more homogenous coating. They tend to occupy small hole defects formed from local shrinkage during curing of the epoxy resin and act as a bridge to connect more molecules. This results in a reduced total free volume as well as an increase in the cross-linking density. In addition, epoxy coatings containing nanoparticles offer significant barrier properties for corrosion protection and reduce the trend for the coating to blister or delaminate [3].

Nanoparticles are generally considered to be a number of atoms or molecules bonded together with radius of 100 nm. Nanoparticles find relevance in corrosion resistant, erosion-resistant and wear-resistant environments [4].

Nanoparticles are being incorporated into epoxy matrices as fillers to improve the mechanical, rheological, anticorrosive, and light-resistance properties. Especially nano metal oxides such as TiO_2 , Fe_2O_3 , ZnO , SiO_2 , Al_2O_3 , CaCO_3 and zirconia have been used as nano filler for corrosion protection on mild steel for more than a decade. The anticorrosive property of these coatings provides a barrier protection against the penetration of aggressive environmental constituents and prevents the cathodic reaction ($2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$) occurring on the substrate/coating interface [4]. Nanoparticles can prevent disaggregation of epoxy during curing, resulting in a more homogenous coating. They tend to occupy small hole defects formed from local shrinkage during curing of the epoxy resin and act as a bridge to connect more molecules. This results in a reduced total free volume as well as an increase in the cross-linking density [2].

The use of biomaterials in general and agro-waste in particular is a subject of great interest nowadays not only from the technological and scientific points of view, but

also socially, and economically, in terms of employment, cost and environmental issues[5]. Bio-wastes are produced from a large variety of sources and agro-wastes are a class of these wastes. Agro-wastes are gotten from animal and plant sources. These wastes contribute to the problem of environmental pollution and the growing cost of handling the problems of environmental pollution is a world problem being tackled by various organizations around the world. [6] suggested that a wise alternative is to utilize these wastes and extract useful substances from them and therefore reduce the cost of disposing the wastes and also the environmental damages imposed on our environment by these wastes.

Palm kernel shells are waste products of oil palm and previous researches have shown that palm kernel ash contains hard silica. Bearing these in mind, this research focuses on the development and evaluation of the corrosion performance of epoxy-palm kernel shell ash nanoparticle coating for mild steel. The nanoparticles were produced using the sol-gel method and were characterized using XRF (X-ray fluorescence), FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy), XRD (X-ray diffraction), and SEM (Scanning electron microscopy) techniques. The composite coating was then produced by mixing epoxy with the nanoparticles of Palm kernel shell and then the mild steel was coated with it using a spray gun.

II. METHOD

Mild steel (ASTM/SAE 1013 Steel plate/sheet) was used, palm kernel shells (figure 1) were used and they were obtained from Nigeria Institute for Oil Palm Research in Edo State, Epoxy (LY 556) also called *Bisphenol-A-Diglycidyl-Ether* and hardener triethylene-tetramine (TETA) with commercial designation HY 951 was also used and they were purchased from a chemical shop in Warri Delta State Nigeria.



Figure 1: Palm kernel shell

Preparation of mild steel and Palm kernel shell ash

The palm kernel shell was cleaned and dried, they were packed in graphite crucible and ashed in a Carbolite electric resistance furnace at 1100°C for 4 hrs as reported by [7] to obtained palm kernel shell ash (figure 2). A high intensity planetary ball mill pm 400 machine was used in pulverizing the palm kernel shell ash.

Mild steel with compositions shown in Table 1 was used in this work. The mild steel was grit blasted at a pressure of 3 kg/cm² using alumina grits having size of around 60 µm size in order to achieve a good coating adherence. The grit blasted sample was cleaned in an ultrasonic cleaner and the weight of each cleaned specimen was taken by using a precision electronic balance with ± 0.1 mg accuracy. This procedure was adopted from [8]



Figure 2: Palm kernel shell particulate

Table 1: Chemical composition of the mild steel

Metal Elements (%)	Percentage
1. C	0.130
2. Si	0.153
3. Mn	0.630
4. P	0.060
5. Cu	0.040
6. Al	0.030
7. S	0.010
8. Cr	0.010
9. Ni	0.020
10. Mo	0.01
11. W	0.088
12. Fe	balance

Production of the nanoparticles

The sol gel method was applied in producing the palm kernel shell ash nanoparticles. 50 g of Sodium hydroxide mixed in one dm³ of water was added to 100 g of Palm kernel ash, put in an Erlenmeyer flask and stirred for about 2 hours before the solution was filtered to remove the residue which is carbon (Figure 3). The filtrate was then allowed to cool at room temperature, then hydrochloric acid of weight 0.5 mols was added and stirred for hydrolysis – condensation reaction to occur until pH of 7 was attained with a pH meter and ageing was done at 65°C for 8 hours in an oven to obtain the gel. The above procedure was adopted from [9].



Figure 3: The palm kernel shell ash filtrate

Characterization of the nanoparticles

The size of the nanoparticles as well as their form and structure were observed with Transmission Electron Microscope using Jeol, JSM2010, X-ray fluorescence spectrometer was utilized for the composition analysis of the produced nanoparticles, X-ray diffractometer , XPertPro PANalytical, LR 39487C was used to obtain the X-ray diffraction patterns of Palm kernel ash nanoparticles.

Production of the Composite Coating

The production of the composite coating was done with accordance with ASTM D3878-20 (2020) Standard Terminology for Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, these procedures are applied standards on composites containing high-modulus fibers. In the procedure the

palm kernel shell ash nanoparticles were sonicated in ethanol solvent using sonicator equipped with a titanium probe having a diameter of 13 mm) for 15 minutes, the uncured epoxy (LY556) of density $1.15 - 1.20 \text{ g/cm}^3$ and its corresponding hardener (HY 951) of density 0.98 g/cm^3 were then combined by weight in a ratio of 2:1 and the nano particles were added in a percentage weight of 1 to 5 because after the preliminary experiments it was observed that addition of palm kernel Shell beyond 5% made the mixture slurry too thick and could not pass through the nozzle of the spraying machine. Thereafter, the mixture was stirred up to 1200 rpm speed for 15 minutes before the steel was coated with the mixture using spray gun and then kept at room temperature to allow for full curing for seven (7) days. (Figure 4).



Figure 4: Photograph of the coated samples

Characterization of the coated samples

The coating thickness was done in accordance with ASTM E376 - 19 using a coating thickness gauge, XPertPro PANalytical, LR 39487C was used to obtain the X-ray diffraction patterns. The microstructure of the samples was conducted using Scanning electron microscope model: TESCAN SEM, Siemens D-500 diffractometer model: Co-K α radiation ($K\alpha = 1.79026 \text{ \AA}$) was used to determine the various phases formed in the samples. scanning electron microscope (TESCAN) A universal testing machine (PC-2000 Testometric testing machine) was utilized to test the adhesion strength, the test was performed as per ASTM C-633, Electrochemical tester Model: CHI604E was used to perform the corrosion test, this investigation was carried out in accordance with ASTM G19 Standard.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Transmission Electron Microscopy Analysis of the Nanoparticles

The morphology of the Palm kernel shell ash nanoparticles (PKSAnp) by transmission electron microscope/ energy dispersive spectrometry (TEM/EDS) is shown in Figures 5. The nanoparticles were observed to be solid in nature, but irregular in size. Spherical shape particles can also be seen. The average particle size obtained was 71.67 nm.

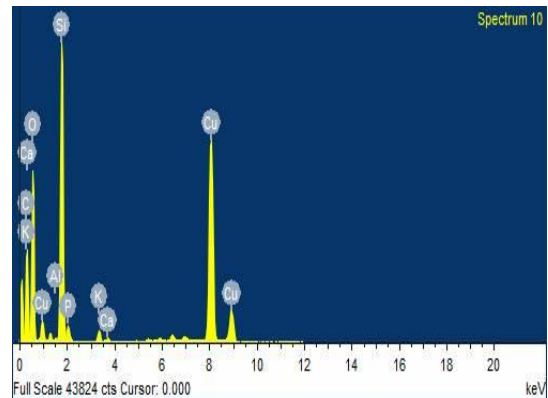
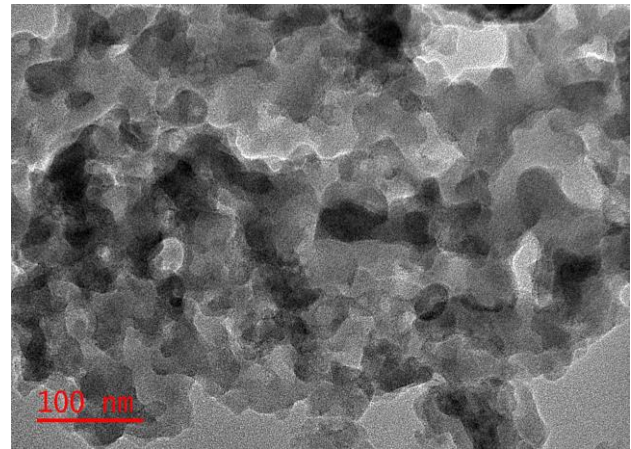


Figure 5: TEM/EDS of the Microstructure of the PKSAnp

It was observed that the micro-analysis of the EDS of the PKSAnp revealed the presence of Si, C, K, Ca, O and Al. The high peak of silicon (Si) in Figure 5 was as a result of the fact that the major constituent of Palm kernel ash nanoparticles is silica. Also the presence of high peak of oxygen (O) may confirm that the various elements in the palm kernel ash are not pure. The high carbon obtained is due to the effect of carbonization at high temperature. This is similar to the work of [10].

Weight gain, coating thickness and Adhesion of the coated samples

Figure 6 displayed the percentage by weight gain of the coating samples, while Figure 7 and give the coating thickness of the coated samples. Figure 6 it was observed that the weight increased as the wt% of PKSA_{np} was increased, that is weight gained of: 1.92, 2.24, 2.56, 3.01, 3.21, 3.84% was obtained with epoxy/PKSA_{np} coating. Similar pattern was obtained for the coating thickness. A 99.6, 147.3, 154.3, 181.7, 194.0, 237.3 μ m was obtained with epoxy/PKSA_{np} coating. Increases in both weight gain and coating thickness could be attributed to the fact that PKSA_{np} was able to cover the surface of the mild steel.

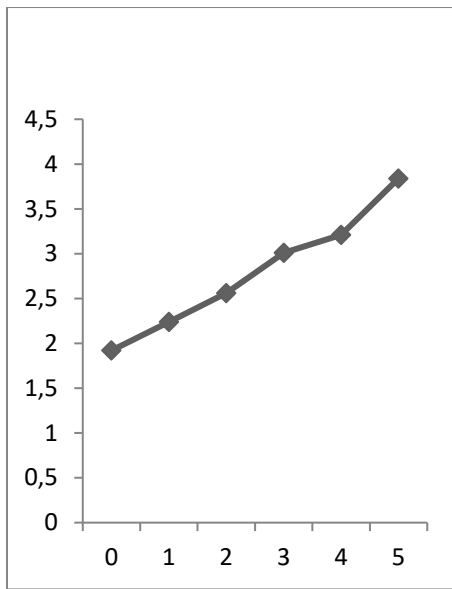


Figure 6: Percentage by weight gain of the sample

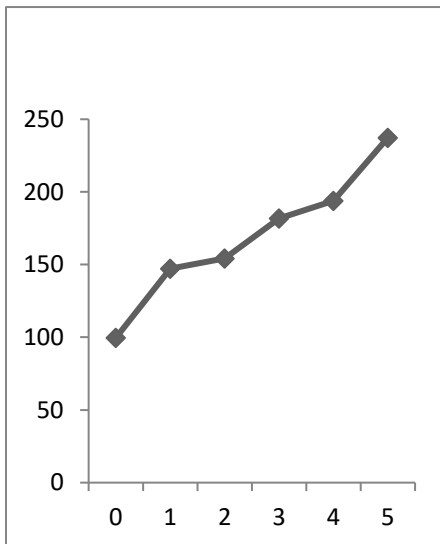


Figure 7: Coating thickness of the sample

Figure 8 shows that adhesion strength rises as the percentage weight of Palm kernel shell ash nanoparticles increased in the epoxy. Values of 5.32, 7.96, 10.248, 11.559, 12.355, 19.986MPa were obtained for the epoxy- palm kernel shell ash nanoparticles at 0, 1, 2, 3, 4 and 5wt%. Improvement of 275.7% was obtained for epoxy-5wt% Palm kernel shell ash nanoparticles, this can be attributed to the good interfacial bond between the mild steel and coating material used. This was achieved by the stirring done during the mixing of the composite coating and also the good surface preparation before the coating of the mild steel.

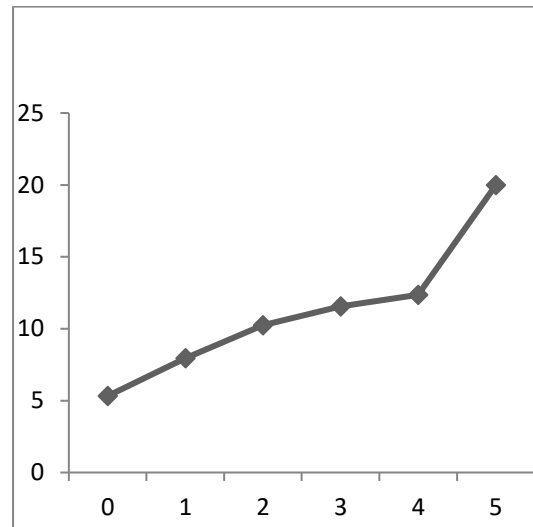


Figure 8: Adhesion strength with percentage by weight coating formulation

Corrosion Rate

Open-Circuit Potential Measurements

In the Open-Circuit Potential plot shown in Figure 9, the mild steel without coating was observed to have the lowest potential of all the samples. Disparity was observed in the potential of the mild steel and coated specimens, with that of the coated specimens tending with respect to the positive axis and that of mild steel tending with respect to the negative axis. Establishing that the developed coating has the ability to protect the specimens against corrosion attack. Also, as the percentage by weight of Palm kernel shell ash nanoparticles increased, the samples' potential also increased with 5wt% Palm kernel shell ash nanoparticles having the highest potential, considering the fact that Palm kernel shell ash nanoparticles was able to cover the entire surface of the mild steel.

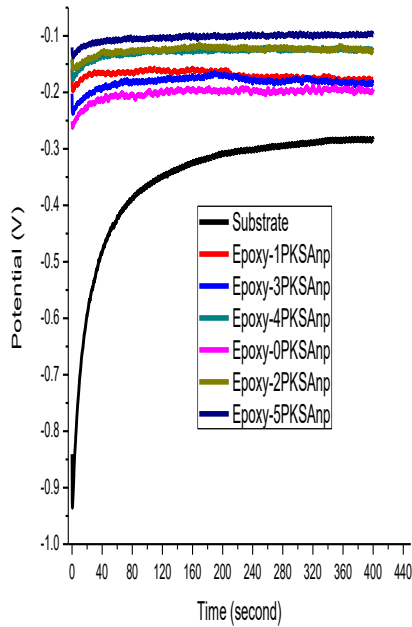


Figure 9: Open circuit potential for epoxy- palm kernel shell ash nanoparticles coating

Potentiodynamic polarisation studies

The investigation of the corrosion rate of the coating was carried out in simulated sea water using Tafel polarization curves. The Tafel polarization curves are shown in Figure 10 and the outcome obtained are shown in Table 2. From Table 2, it was observed that corrosion current of the samples coated was lesser than that of mild steel alone, and the potential samples coated tending with respect to the positive axis and that of mild steel tending with respect to the negative axis of the graph. This established that the developed coating can improve the corrosion protection of the sample. From Figure 9, the observation showed that the mean potential for mild steel moved towards a lesser potential and elevated current density. With increase in percentage weight of Palm kernel shell ash nanoparticles, the corrosion potential as well as the corrosion resistance of the samples also increased, this could be due to the various microstructures obtained in the work.

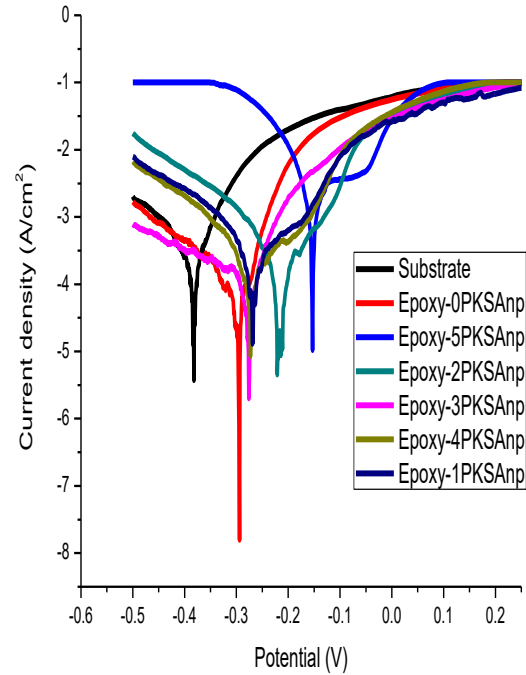


Figure 10: Tafel polarization curves for epoxy-palm kernel shell ash nanoparticles composites coating

From Figures 11- 14 shows the potential, current density, polarisation resistance and corrosion rate of the samples, it can be seen that there is a comparable drift, meaning the higher the polarisation and potential resistance the lesser the corrosion rate and current density. This trend was anticipated since the lesser the potential the higher the predisposition for corrosion to occur. For mild steel, the corrosion potential was -0.385 the values increased to -0.289, -0.16, -0.156, -0.143, -0.136, -0.103V for epoxy-palm kernel shell ash nanoparticles at 0, 1, 2, 3, 4, and 5wt% respectively. Furthermore, the corrosion rate of the mild steel was 1150 mpy this decreased to 921, 213.1, 95.82, 78, 40.1, 15.87mpy for epoxy-palm kernel ash nanoparticles at 0, 1, 2, 3, 4, and 5wt% respectively. A Corrosion protection efficiency of 98.62% was obtained for the mild steel when coated with epoxy-5wt% Palm kernel ash nanoparticles respectively.

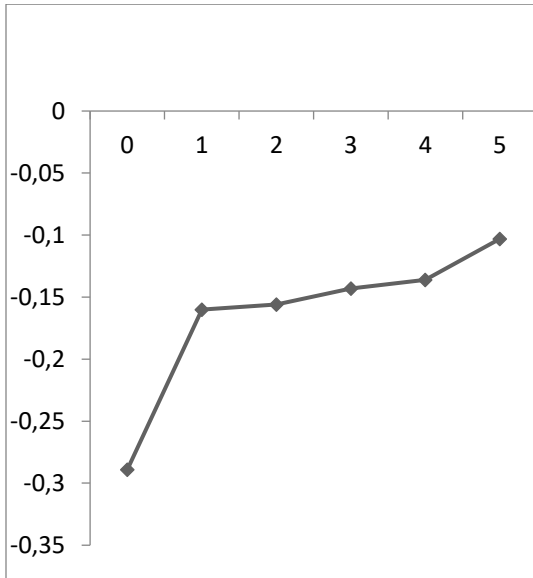


Figure 11: Variation of corrosion potential with percentage weight of coating materials

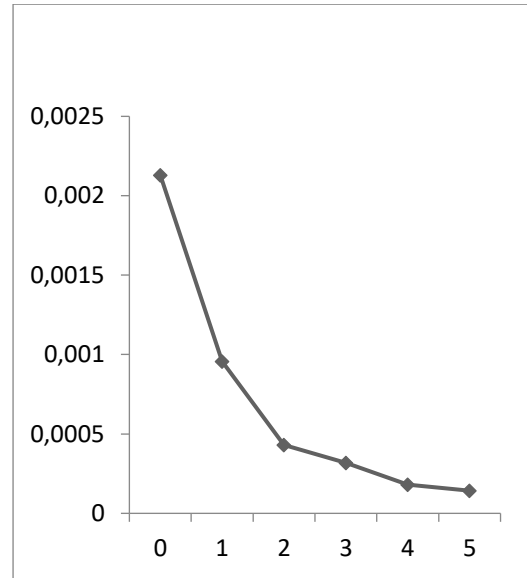


Figure 13: Variation of corrosion current density with percentage by weight of coating materials

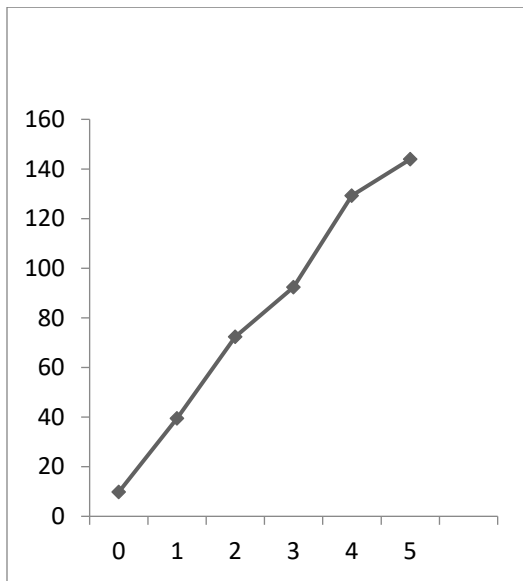


Figure 12: Variation of corrosion resistance with percentage weight of coating materials

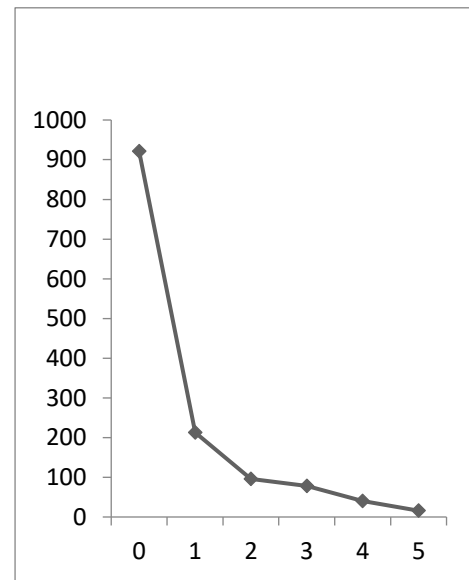


Figure 14: Variation of corrosion rate with percentage weight of coating materials

In studying the corrosion surface of mild steel as well as its composite coatings at 0wt% and 5% wt palm kernel shell ash nanoparticles formulation, scanning electron microscope was used. It was seen that mild steel showed higher tendency to pitting corrosion than the samples that are coated (Figure 15).

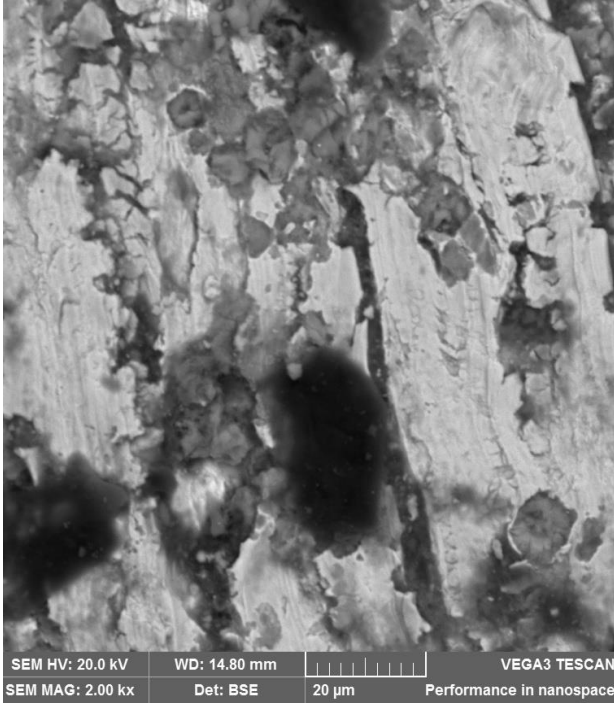


Figure 15: Scanning Electron Microscopy corrosion worn surface of the uncoated mild steel

The corroded surface of the coated sample revealed that the coating was not detached from the surface of the mild steel as a result of corrosion attack. The coating helped to cover the surface of the mild steel and made it passive to corrosion attack. (Figures 16).

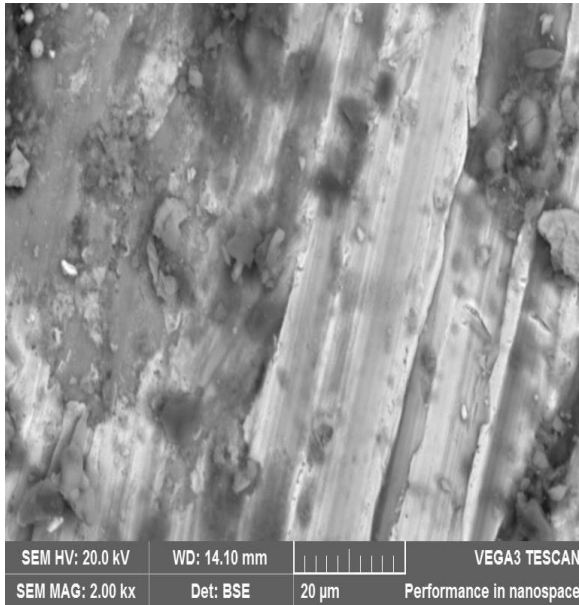
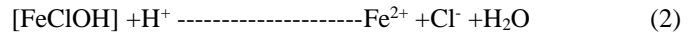
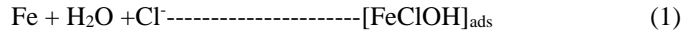


Figure 16: Scanning Electron Microscopy corrosion worn surface of the epoxy-5wt% Palm kernel ash nanoparticles coated mild steel

The method of the corrosion of materials in sea water involves vigorous disbanding of mild steel in subsea water as well as electron discharge [11]. This is shown in equations 1 and 2



There was a huge amount of pits enveloped by iron oxide film showing that pit creation under these circumstances occurred at some point in the exposure time while iron oxide built up on the surface (Figure 14).

The sample of the composite coating contained hard phases and made the degree of damage on the sample surface low (Figure 16). These hard phases gave some resistance to the corrosion attack. Therefore, this study provides credibility to the controversy that the existence of Palm kernel ash nanoparticles allows low corrosion of materials [12]

IV. CONCLUSION

Palm kernel shell ash was successful developed as nanoparticles using the sol-gel method and from the transmission electron microscope analysis, they were seen to be solid, irregular in size and sphere-shaped with particle size of 71.67 nm. Characterization of the nanoparticles as well as the coating of the mild steel was also successfully done and the following conclusions were obtained:

I. The weight of the coating as well as coat thickness increased with the increase in weight percent of Palm kernel shell ash nanoparticles up to 5%, after which there was a decrease.

ii. From the scanning electron microscope analysis of the microstructure of the coated samples with Palm kernel ash nanoparticles, it was observed that dense, packed and smaller grains than the uncoated samples were formed and there were no external features of particles such as contours, defects or damages seen on the images. This could be attributed to the effectiveness of the stirring done before the spraying which was able to disperse the nanoparticles as well as the spraying method applied.

iii. Improvement of adhesion strength of 275.7% was obtained for epoxy-5% weight Palm kernel ash nanoparticles

iv. The coating helped to cover the surface of the mild steel and made it passive to corrosion attack

v. A Corrosion protection efficiency of 98.62% was obtained for the mild steel when coated with epoxy-5% weight palm kernel ash nanoparticles.



CONFLICTS OF INTEREST

They reported that there was no conflict of interest between the authors and their respective institutions.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS

In the studies carried out within the scope of this article, the rules of research and publication ethics were followed.

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to specially acknowledge Prof. F. F. O. Orunmwense, Prof V. S. Aigbodion, Prof. P. O. B. Eburnilo and Prof. E. G. Sadjere for the success of this research work and also to all members of staff of the Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Benin, Benin City for the success of this work.

REFERENCES

- [1] Zheludkevich, M. L., Salvado, I. M. and Ferreira, M. G.S. (2005) Sol-gel coatings for corrosion protection of metals. *Journal of Material Chemistry*. 15(48) 5099-511.
- [2] Min Z. R., Ming Q. Z., Hong L., Hamin Z., Bernd W. and Klaus F. (2001). Microstructure and tribological behaviour of polymeric nanocomposites. *Journal of Industrial lubrication and tribology*. 53(2), 72-77.
- [3] Gleiter. H. (2000). Nanostructured materials; Basic concepts and microstructure *Acta Materialia*, 48(1), 1-29.
- [4] Bagherzadeh M. R. and Mahdavi F. (2007) Preparation of Epoxy- clay nanocomposite and investigation on its anti-corrosive behavior in epoxy coating. *Progress in organic coating*. 60(2), 117-120.
- [5] Dagwa I. M., and Builders P. F., Achebo J., (2012) Characterization of palm kernel shell powder for use in polymer matrix composites. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*. 12 (4), 88-93
- [6] Nwaobakata C. and Agunwamba J. C., (2014) Effect of palm kernel shells ash as filler on the mechanical properties of hot mix asphalt. *Archives of Applied Science Research*. 6 (5), 42-49.
- [7] Ikubanni, P. P., Oki, M., Adeleke, A. A., Adediran, A. A., & Adesina, O. S. (2020). Influence of temperature on the chemical compositions and microstructural changes of ash formed from palm kernel shell. *Results in Engineering*, 8, 100173. doi:10.1016/j.rineng.2020.100173
- [8] Smith, J.L. And Yirmani Y.P. (2000). Materials and methods for corrosion control of reinforced and prestressed concrete structures in new construction. *Material sciences*. 165.
- [9] Chanadee T. and Chaiyarat S. (2016) . Preparation and Characterization of Low Cost Silica Powder from Sweet Corn Cobs (*Zea mays saccharata L.*) *Journal of Material Environment Science*. 7 (7), 2369-2374.
- [10] Hassan S.B., Aigbodion V.S, and Patrick S.N. (2012) Development of Polyester/Eggshell Particulate Composites. *Tribology in Industry*. 34(4), 217-225.
- [11] Durodola, B.M., Olugbuyiro, J.A.O., Moshood, S.A. Fayomi, O.S.I. and Popoola, A.P.I. (2011). Study of Influence of Zinc Plated Mild Steel Deterioration in Seawater Environment. *International Journal of Electrochemical Science*. 6, 5605-5616
- [12] Hammami, O., Dhoubi, L., Bercot P., Rezrazi, E. and Triki, E. (2012). Study of Zn-Ni Alloy Coatings Modified by Nano-SiO₂ Particles Incorporation. *International Journal of Corrosion*. Article ID 301392



RESEARCH ARTICLE

Meeting the Charging Station Energy Needs Using Hybrid Energy Systems at Batman University West Raman Campus: Technical and Economic Analysis

* Muhammed Said YILMAZ, ¹ Mehmet Rida TUR, and ² Davut OZHAN

*Batman University, Graduate Education Institute, Electrical Engineering Department, Batman, Türkiye
muhammedsaid.yilmaz@student.batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5960-8676,

¹BatmanUniversity, Faculty of Engineering and Architecture, Electrical Engineering Department, Batman, Türkiye
mrida.tur@batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5688-4624,

²Mardin Artuklu University, Vocational School, Electronics Department, Mardin, Türkiye
davutozhan@artuklu.edu.tr, Orcid. 0000-0002-0400-1970,

HIGHLIGHTS

- Energy production with low emission values through the use of renewable resources
- Being connected to the grid, reducing battery costs to zero and using hybrid resources
- Uninterrupted energy with the use of renewable resources and grid connection
- Determining the profit-loss ratio by performing cost analysis before establishing a hybrid energy system

Keywords:

- Hybrid system
- HOMER Pro
- Renewable energy

GRAPHICAL ABSTRACT

In this study, the technical and economic analysis of a hybrid system consisting of grid-connected, renewable energy sources (solar and wind energy) was carried out using the HOMER Pro program as a simulation to meet the energy needs of the electric vehicle charging station at Batman University West Raman Campus. In the study, the HOMER Pro program was introduced, the geographical location of Batman University was shown, and solar and wind energy potentials were examined. The load profile for electric vehicles of our university campus has been prepared and the optimum dimensioning of the photovoltaic and wind turbine system has been made. A 100 kW hybrid system model has been designed. The photovoltaic (PV) system size is determined as 90 kW and the wind turbine system size is 10 kW. The power output results of the photovoltaic (PV) system and wind turbine (RT) system were calculated. Monthly energy purchase-sale values were calculated and the profit-loss situation was examined. Emission values of the hybrid system; CO₂ was found to be 1,852 kg/year, SO₂: 8.03 kg/year and NO₂: 3.93 kg/year. According to the simulation results, the capital cost was found to be \$66,500, the current net cost was \$8,599.82, the unit energy cost was \$0.045, and the system depreciation period was 7 years. An economic comparison of the hybrid system and wind turbine system has been made and it has been observed that the hybrid system provides gains over the years.

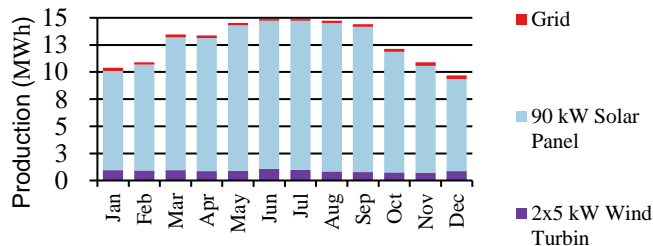


Figure A. Monthly electricity usage

Article Info:

Received : 14 August 2023

Accepted : 28 September 2023

DOI: 10.53525/jster.1342770

*Correspondence:

Muhammed Said YILMAZ
muhammedsaid.yilmaz@student.batman.edu.tr

Phone: +90 552 5963232

Aim of Article : Technical and economic analysis of renewable hybrid Resources.

Theory and Methodology : Optimizing with renewable resources with the HOMER Pro program. Perform cost and sensitivity analysis.

Findings and Results: The solar potentials of Batman province are much higher than the wind potentials. The amount of profit from annual electricity production is \$ 6,137.

Conclusion : It contributes to a cleaner environment and green energy with low emission values through the use of renewable resources. The reason for creating a grid-connected system is to get rid of battery costs and provide uninterrupted energy.



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak Şarj İstasyonu Enerji İhtiyacının Karşılanması: Teknik ve Ekonomik Analizi

* Muhammed Said YILMAZ, ¹ Mehmet Rıda TÜR, ² Davut ÖZHAN

^{*1}Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye
muhammedsaid.yilmaz@student.batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5960-8676

¹Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye.
mrida.tur@batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5688-4624

²Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik Teknolojisi Bölümü, Mardin, Türkiye
davutozhan@artuklu.edu.tr, Orcid. 0000-0002-0400-1970,

Alıntı / Citation :

Yılmaz, M.Said., Tür, M.Rıda, Özhan, D., (2023). *Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak Şarj İstasyonu Enerji İhtiyacının Karşılanması: Teknik ve Ekonomik Analizi*, Journal of Science, Technology and Engineering Research, 4(2): 100-111. DOI: 10.53525/jster.1342770

ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Yenilenebilir kaynak kullanımı ile düşük emisyon değerli enerji üretimi
- Şebeke ile bağlantılı olmak, pil maliyetini sıfıra indirmek ve hibrit kaynak kullanmak
- Yenilenebilir kaynak kullanımı ve şebeke bağlantısı ile kesintisiz enerji
- Hibrit bir enerji sistemi kurmadan önce maliyet analizi yapılarak kâr-zarar oranını tespit etmek

Makale Bilgileri / Article Info

Geliş Tarihi : 14 Ağustos 2023

Kabul Tarihi : 28 Eylül 2023

DOI: 10.53525/jster.1342770

*Sorumlu Yazar:

Muhammed Said YILMAZ,
muhammedsaid.yilmaz@student.batman.edu.tr

Tel: +90 552 5963232

ÖZET / ABSTRACT

Bu çalışmada, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nde elektrikli araç şarj istasyonunun enerji ihtiyacını karşılamak için simüle olarak, şebekeye bağlı, yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş ve rüzgâr enerjisi) oluşan hibrit bir sistemin teknik ve ekonomik analizi HOMER Pro programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada HOMER Pro programı tanıtılmış, Batman Üniversitesinin coğrafi konumu gösterilmiş, güneş ve rüzgâr enerji potansiyelleri incelenmiştir. Üniversite kampüsümüzün elektrikli araçlar için yük profili çıkarılmış, fotovoltaik ve rüzgâr türbin sisteminin optimum boyutlandırması yapılmıştır. 100 kW boyutunda hibrit bir sistem modeli tasarlanmıştır. Fotovoltaik (FV) sistem boyutu 90 kW, rüzgâr türbin sistem boyutu 10 kW olarak belirlenmiştir. Fotovoltaik (FV) sistem ve rüzgâr türbin (RT) sistemi güç çıkış sonuçları hesaplanmıştır. Aylık enerji alım-satım değerleri hesaplanmış ve kâr-zarar durumu incelenmiştir. Hibrit sistemin emisyon değerleri; CO₂: 1.852 kg/yıl, SO₂: 8,03 kg/yıl ve NO₂: 3,93 kg/yıl olarak bulunmuştur. Simülasyon sonuçlarına göre sermaye maliyeti 66.500 \$, bugünkü net maliyet 8.599,82 \$, birim enerji maliyeti 0,045 \$ ve sistem amortisman süresi 7 yıl olarak bulunmuştur. Hibrit sistem ve rüzgâr türbin sistemi ekonomik karşılatırması yapılmış ve hibrit sistemin yıllara göre kazanç sağladığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Sistem, HOMER Pro, Yenilenebilir Enerji



I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Yakın tarihimize baktığımızda, fosil yakıt kaynaklarının kullanımı dünyamıza ve atmosfere fazlaca zarar verdiği görülmektedir. Atmosfere yayılan zararlı sera gazları hem atmosfer tabakasını delmekte hem de küresel ısınmayı tetiklemektedir. Bu da karbon emisyonunu artırmaktadır. Bu zararlı gazların yayılmasında otomobillerinde büyük payı vardır. Geçmişten günümüze kadar içten yanmalı araçların daha çok kullanıldığı görülmektedir. Son yıllarda, karbon emisyonlarının, sera gazının ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın etkili bir şekilde azaltılması projeleri artmıştır [1]. Daha düşük işletme maliyeti, daha düşük gürültü seviyeleri ve araç işletiminde daha yüksek verimlilik sebebiyle içten yanmalı motorlu (İYM) araçlara ilgi azalmış, elektrikli araçlara (EA'lar) yeniden ilgi duyulmuştur [2]. İçten yanmalı motorlu (İYM) araçların kademeli olarak elektrikli araçlarla (EA'lar) değiştirilmesi ulaşım sektöründe oldukça teşvik edilmektedir. 2050'ye kadar Net Sıfır Emisyon Senaryosu (Net Zero Emissions), 2030'da 300 milyonun üzerinde bir elektrikli otomobil filosu ve yeni otomobil satışlarının %60'nı elektrikli otomobillerin oluşturduğunu öngörmektedir [3]. EA'ların temel avantajı, yakıt tasarrufu ile birlikte şehir kirliliğini ve karbon emisyonunu azaltma potansiyelleridir. EA'ların ekonomik ve çevresel performansı, sürdürülebilir enerji üretimi ile birleştiğinde yükselir ve akıllı şarj stratejileri uygulandığında daha da iyileştirilir [4].

Şarj altyapısının mevcudiyeti, EA'ların benimsenmesini artırmada çok önemli bir faktördür. Normalde EA'ların evde her gece yeniden şarj edilmesi beklenir, ancak EA'ların sınırlı menzili, uzun mesafeli yolculuklar için halka açık yerlerde şarj edilmesini bir gereklilik haline getirir. Bu nedenle evde şarjı tamamlayıcı olarak bir kamusal şarj hizmetinin sağlanması temel ihtiyaç olacaktır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının, şarj altyapısının uygulanmasına yönelik yanlış planlamalar, EA'ların benimsenmesini engelleyecektir. Bu nedenle, şarj istasyonlarının yerleşimi doğru bir şekilde yapılmalıdır [5].

Enerji sektörü, elektrikli araç şarjı için güvenli bir elektrik kaynağı sağlamada kilit bir rol oynar. EA şarj ihtiyaçlarının esnek doğası, sorunsuz entegrasyon sağlamak için kullanılabilir. Ancak diğer tüm elektrik yükleri gibi EA'lar da güç sistemini etkilemektedir. Yeterli donanıma sahip olmayan alanlar, tedarik veya kalite sorunları yaşayabilmektedir [6]. Bu nedenle artan maliyetler ve sera gazı emisyonları yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla ilgi gösterilmesine neden olmuştur. Güneş ve rüzgâr enerjileri,

tek kaynaktan daha yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip bir hibrit enerji sistemi oluşturmak için birlikte entegre edilebilecek en erişilebilir ve önemli yenilenebilir kaynaklardır [7]. Yenilenebilir enerjiye (güneş ve rüzgâr enerjisine) dayalı şarj istasyonları, fosil yakıt tüketimini azaltan, yatırım maliyetini optimize eden ve yenilenebilir kaynaklar tarafından üretilen güçteki dalgalanmaları dengeleyen dost EA şarj istasyonlarıdır [7].

II. KAYNAK ARAŞTIRMASI [RESOURCE RESEARCH]

Literatür taraması yapıldığında, HOMER Pro yazılımı kullanılarak, birçok hibrit mikro şebeke sisteminin teknik ve ekonomik analiz çalışmalarının yapıldığı görülmektedir.

Adalı [8], Bursa'nın Yıldırım ilçesinde bir konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla şebekeden bağımsız fotovoltaik (FV) + batarya ve şebekeye bağlı FV sistemlerden oluşan güneş enerjisi temelli hibrit enerji sistemlerinin HOMER Pro kullanarak tasarımını gerçekleştirmiştir. Yapılan analizler sonucunda; şebekeden bağımsız sistemin toplam net bugünkü maliyetini 71.386,04 TL, işletme maliyetini 85,06 TL, kWh başına elektrik birim maliyetini 0,094 TL; şebekeye bağlı sistemin toplam net bugünkü maliyetini 13.357,51 TL, işletme maliyetini 26,88 TL, kWh başına birim maliyetini 0,0075 TL olarak hesaplamıştır. Konutlarda şebekeye bağlı sistemin enerji maliyetlerinin düşürülmesi hususunda büyük avantajlarının olduğu belirlenmiştir.

Dawoud [9], Mısır'ın Hurgada şehrine hibrit yenilenebilir kaynaklarla enerji sağlamak için, konutlara fotovoltaik, rüzgâr türbinleri, dizel motorlar ve akümülatörlerden oluşan dört farklı hibrit yenilenebilir kaynağın bir kombinasyonunu tasarlamıştır. Simülasyon sonuçları, optimizasyon ve modelleme işlemleri HOMER yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Teknik ve ekonomik değerlendirme sonucunda; fotovoltaik-rüzgâr-dizel-batarya kaynağının yıllık enerji maliyetinin minimum değeri 0,275 \$/kWh ve fotovoltaik-dizel kaynağın enerji maliyetinin 0,36 \$/kWh ile daha yüksek bir maliyeti olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca çevresel değerlendirmeye göre, fotovoltaik-rüzgâr kaynağının sıfır emisyon değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yenilenebilir kaynakların uzun vadede bu şehir için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kumar, Sethuraman ve Gopi Chennai bölgesinde bir kurumun elektrik yükü talebini karşılamak ve minimum net mevcut maliyeti (Net Present Cost-NPC) elde etmek için HOMER Pro yazılımını kullanarak iki optimum



sistem modellemişlerdir. Önerilen sistem modellemelerine göre optimum-1 sistemi için fotovoltaik, rüzgâr türbini ve biyogeneratörün kapasite faktörü ve katkı yüzdesi sırasıyla; %79,41, %0,98, %19,61 ve %92,83, %0,43, %6,75 olarak bulunmuştur. Optimum-2 sistem modeli için kapasite faktörü ve katkı yüzdesi sırasıyla; %85,86, %2,02, %12,12 ve %93,31, %0,82, %5,87 olarak bulunmuşlardır. NPC ve enerji maliyeti (Cost Of Energy-COE) üzerindeki değişimleri bulmak için fotovoltaik, rüzgâr türbini, pil, dönüştürücü, biyogeneratör ve yakıt maliyetini mevcut maliyetinin 0,8 ile 1,2 katı arasında ayarlanarak duyarlılık analizi yapılmıştır. HOMER Pro simülasyon sonucuna göre elde edilen en uygun sistem, 81 kW fotovoltaik, 1 kW rüzgâr türbini, 20 kW biyogaz jeneratörü, 47,3 kW dönüştürücü ve kurşun asit bataryadan (nominal 101 Ah/12V) oluşan optimum-1 sistemi olmuştur. 1,36 kWh/yıl enerji üretmek için 1,85 \$ net mevcut maliyet hesaplamışlardır [10].

Kahraman, Kütahya ilinin yenilenebilir enerji potansiyellerinin teknik ve ekonomik analizini HOMER ve RETScreen yazılımı kullanarak incelemiştir. Çalışmada güneş enerji santrali ve rüzgâr enerji santrali için ayrı ayrı fizibilite çalışması ve maliyet analizi yapılmış, geri ödeme süresi, iç kârlılık oranı ve net bugünkü değer hesaplanmıştır [11]. Hailu Kebede ve Bekele Beyede, Etiyopya'nın Nifasso adlı tahmini 1059 nüfusu olan kırsal köyü için elektrik talebini sürdürülebilir şekilde karşılayabilen güneş, rüzgâr, yakıt pili ve güç kaynağı ünitesinden oluşan, sıfır emisyonlu bir hibrit güç sisteminin tekno-ekonomik fizibilite çalışması HOMER programı kullanılarak gerçekleştirmişler [12].

Mohamud ve ark. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) kampüsüne HOMER yazılımı kullanılarak yenilenebilir kaynaklarla ve şebekeye bağlı bir mikro şebeke sistemi tasarlanmış ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan mikro şebeke sistemi, fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbini (RT) üniteleri ile batarya enerji depolama sistemine sahip ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır [13]. Türkdoğan ve ark. Yalova'nın Erikli Yaylasında bir çiftlik evinin elektriksel yük ihtiyacını karşılamak üzere şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin ekonomik analizini yapmışlardır. Çiftlik evinin elektriksel yük ihtiyacını hesaplamış, rüzgâr hızı ve güneş radyasyon verileri kullanarak, HOMER programıyla hibrit enerji sistem modeli oluşturmuşlardır [14].

III. TEORİ VE YÖNTEM [THEORY AND METHODOLOGY]

A. HOMER Pro Programı

Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) Pro programı, hibrit kaynakları araştırmak için genel bir yazılımdır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki NREL (National Renewable Energy Laboratory) Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı, HOMER Pro programını oluşturmuştur. HOMER Pro, güneş ve rüzgâr verileri gibi girdi değişkenlerinin saatlik analizine dayanarak, gerekli yükü karşılayan bileşenlerin en düşük maliyetli kombinasyonunu bulmaya yardımcı olmaktadır. Yıllık yükü karşılayan sistemler için yaşam döngüsü maliyeti yazılım tarafından tahmin edilmektedir. HOMER Pro, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız, geleneksel veya yenilenebilir teknolojiler gibi farklı sistemlere uygulanabilmektedir. [15].

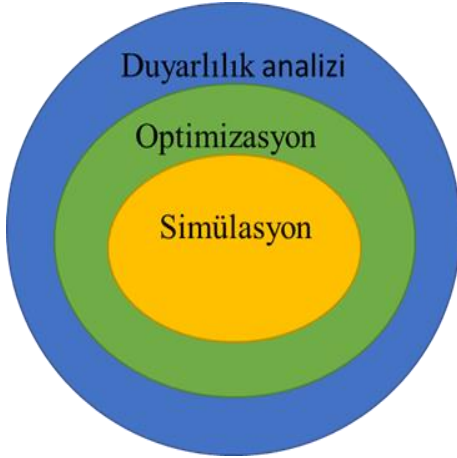
HOMER Pro aynı zamanda, çeşitli teknolojik seçeneklerin ekonomik ve teknik fizibilitesinin değerlendirilmesini sağlayan duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi için bir özellik sağlamaktadır. Bu özellik, yıllık ortalama rüzgâr hızı, yıllık ortalama güneş radyasyonu, dizel fiyatı veya FV hücrelerinin fiyatı gibi belirli bir girdinin tam değerinden şüphe duyulduğu zaman da kullanılabilir. Duyarlılık analizi, bir yıl boyunca (8.760 saat) saatlik olarak enerji dengesi hesaplamaları yapmaktadır. Her saat için elektrik yükünü sistemin o saat boyunca sağlayabileceği enerji ile karşılaştırmaktadır. Duyarlılık analizi yapılırken değerdeki değişimlerin sonuçlar üzerindeki etkisinin incelenmesi için aralıktaki her bir giriş değeri için optimizasyon işlemi tekrarlanmalıdır [12, 16].

Programı çalıştırdıktan sonra sonuçlar, kullanım ömrü maliyetine göre sıralanmış uygun sistem konfigürasyonlarının bir listesi olarak verilmektedir. Sonuçlardan, listenin ilk birkaç satırında gösterilen en düşük maliyetli sistemler uygulama için seçilebilmektedir. Tasarımcı ayrıca listedeki diğer uygulanabilir sistemleri tarayabilmekte ve kurulumun artılarını ve eksilerini maliyet, yenilenebilir kaynak katkısı, bileşenlerin gelecekteki fiyat eğilimi vb. açısından değerlendirerek herhangi bir kurulumu almaya karar verebilmektedir. HOMER Pro, girdileri net mevcut maliyetlerine göre sıralanan farklı uygun sistem konfigürasyonları sağlamak için kullanılmaktadır [16].

HOMER Pro, enerji sistemlerini simüle eder, maliyete göre optimize edilmiş sistem yapılandırmalarını gösterir ve duyarlılık analizi yapar [17]. HOMER Pro'nun



optimizasyon, duyarlılık analizi ve simülasyon arasındaki ilişki Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Simülasyon, optimizasyon, duyarlılık analizi arasındaki ilişki

HOMER Pro programının temeli simülasyondur. Tasarlanan bulunmasını istediğimiz bütün ekipmanların olasılıkları için uygun bir sistemi simüle etmeye çalışmaktadır. Optimizasyon adımında tüm simülasyon seçeneklerini bulur tanımlanan kriterlere göre sıralar ve filtreler, böylece mümkün olan en iyi seçenekler gösterilmektedir. Duyarlılık analizi, rüzgâr hızı ve yakıt maliyetleri gibi kontrol edilemeyen değişkenlerin belirsizliklerinin etkisini modellemeye ve en uygun sistemin değişimini göstermektedir [18].

B. Ekonomik Kriterler

Bir sistem tasarlanırken her bir elemanın maliyeti düşünülmesi gerekmektedir [19]. Tasarlanan hibrit sistem modelinin maliyet analizi HOMER Pro hesaplama aracı ile yapılmıştır. Maliyet özeti; net bugünkü maliyet (Net Present Cost-NPC), başlangıç maliyeti (Initial Cost-IC), işletme ve bakım maliyeti (Operation and Maintenance-O&M), seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Levelized Cost of Energy-COE)’nden oluşmaktadır. Bir bileşenin bugünkü net maliyeti, tüm proje ömrü boyunca bileşenin kurulması ve çalıştırılmasından, tüm bileşenlerin bugünkü değeri ve proje ömrü boyunca elde ettiği gelirlerin çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Bugünkü net maliyet değerlerinin eksi değer alması üreticinin kazanç elde ettiği manasına gelmektedir. [8, 20]. Bir bileşenin başlangıç maliyeti (IC), projenin başlangıcında o bileşenin kurulu toplam maliyetidir. İşletme ve bakım maliyeti (O&M), bileşenin çalıştırılması ve sürdürülmesi maliyetidir, genellikle yıllık tutar olarak hesaplanmaktadır.

HOMER Pro programında seviyelendirilmiş enerji maliyeti (COE), üretilen elektrik enerjisinin kilovatsaat

başına ortalama maliyeti olarak tanımlanmaktadır. COE Denklem 1 ile hesaplanmaktadır [21].

$$COE = C_{ann,tot} - \frac{c_{boiler}H_{served}}{E_{served}} \quad (1)$$

Bu denklemde; COE (\$/kWh) seviyelendirilmiş enerji maliyetini, $C_{ann,tot}$ (\$/yıl) sistemin toplam yıllık maliyetini, c_{boiler} (\$/kWh) kazan marjinal maliyetini, H_{served} (kWh/yıl) toplam termal yükü, E_{served} (kWh/yıl) toplam elektrik yükünü oluşturmaktadır. Paydaki ikinci terim, yıllık maliyetin termal yükten kaynaklanan kısmıdır. Rüzgâr veya FV gibi termal yük taşımayan sistemlerde ($H_{served}=0$) bu terim sıfırdır.

C. Fotovoltaik Güç Hesabı

HOMER Pro programında FV güç çıkış hesabı Denklem 2’deki gibi elde edilmektedir [21, 22].

$$P_{FV} = Y_{FV} f_{FV} \left(\frac{\bar{G}_T}{\bar{G}_{T,STK}} \right) [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STK})] \quad (2)$$

Bu denklemde; Y_{FV} (kW) fotovoltaik (FV) sistemin nominal gücünü, f_{FV} (%) FV sistemin değer kaybı faktörünü (Panellerin kirlenmesi, kablo kayıpları, gölgeleme vb.), \bar{G}_T (kW/m²) anlık zamanda FV panel üzerine düşen güneş ışınımını, $\bar{G}_{T,STK}$ (1 kW/m²) standart test koşullarında (25°C hücre sıcaklığı ve rüzgârsız standart test koşulları) ışınımı, α_p (%/°C) güç sıcaklık katsayısını, T_c (°C) anlık zamanda FV hücre sıcaklığını, $T_{c,STK}$ (25°C) standart test koşullarında FV hücre sıcaklığını ifade etmektedir.

Fotovoltaik (FV) hücre sıcaklığı, FV panel yüzeyinin sıcaklığıdır. Gece boyunca ortam sıcaklığı ile aynıdır ancak tam güneş altında hücre sıcaklığı ortam sıcaklığını 30°C veya daha fazla aşabilmektedir. Ortam sıcaklığından ve dizide çarpan ışınımından hücre sıcaklığını Denklem 2’deki gibi elde edilmektedir [21, 22].

$$T_c = T_a + G_T \left(\frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \right) \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau a} \right) \quad (2)$$

Bu denklemde; T_a (°C) ortam sıcaklığı, $T_{c,NOCT}$ (°C) FV hücre nominal çalışma sıcaklığı (FV sistemin 0,8 kW/m² güneş ışınımına, 20°C ortam sıcaklığına ve 1 m/s rüzgâr hızına maruz kalması durumunda ulaştığı yüzey sıcaklığıdır.), $T_{a,NOCT}$ (°C) nominal çalışma sıcaklığının tanımlandığı ortam sıcaklığı, $G_{T,NOCT}$ (kW/m²) nominal çalışma sıcaklığının tanımlandığı güneş ışınımı, η_c (%) FV panel verimliliği, τ (%) FV güneş geçirgenliğini, a (%) FV sisteminin soğurma oranıdır.

D. Rüzgâr Türbin Güç Hesabı

HOMER Pro programında, üç aşamalı bir süreç kullanılarak her zaman adımında rüzgâr türbininin güç çıkışını hesaplanmaktadır. İlk olarak rüzgâr türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızını hesaplamakta, daha sonra standart hava yoğunluğunda rüzgâr türbininin bu rüzgâr hızında ne kadar güç ürettiğini hesaplamakta ve son olarak bu güç çıkış değerini gerçek hava yoğunluğuna göre ayarlanmaktadır. Göbek yüksekliği rüzgâr hızı hesabı Denklem 3'teki gibi elde edilmektedir [23, 24].

$$U_{hub} = U_{anem} \cdot \frac{\ln(z_{hub}/z_0)}{\ln(z_{anem}/z_0)} \quad (3)$$

Bu Denklemden; U_{hub} (m/s) rüzgâr türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızını, U_{anem} (m/s) anemometre yüksekliğindeki rüzgâr hızını, z_{hub} (m) rüzgâr türbininin göbek yüksekliğini, z_{anem} (m) anemometre yüksekliğini, z_0 (m) yüzey pürüzlülük uzunluğunu, \ln doğal logaritmayı ifade etmektedir.

Göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı belirlendikten sonra, standart sıcaklık ve basınç koşulları altında, rüzgâr türbininden o rüzgâr hızında beklenen güç çıkışını hesaplamak için Denklem 4 kullanılmaktadır [23, 24].

$$P_{WTG} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \cdot P_{WTG,STP} \quad (4)$$

Bu Denklemden; P_{WTG} (kW) rüzgâr türbini çıkış gücünü, $P_{WTG,STP}$ (kW) standart sıcaklık ve basınçta rüzgâr türbini çıkış gücünü, ρ (kg/m^3) mevcut hava yoğunluğunu, ρ_0 ($1,225 \text{ kg/m}^3$) standart sıcaklıkta ve basınçta hava yoğunluğunu ifade etmektedir.

E. Araştırma Verileri

1) Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü

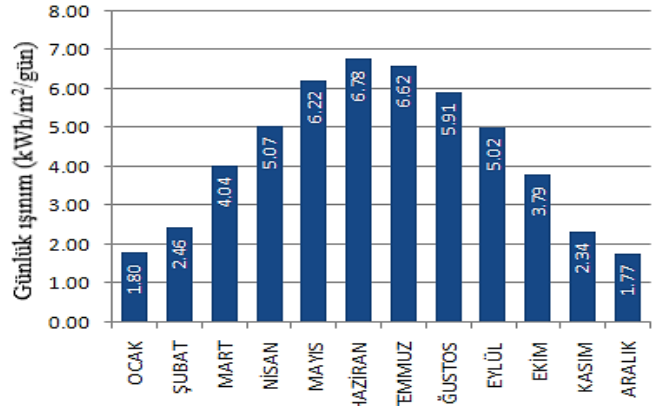
Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü, haritada $37^{\circ} 47' 22''$ K enleminde ve $41^{\circ} 03' 53''$ D boylamında bulunmaktadır, Şekil 2'de yer almaktadır.



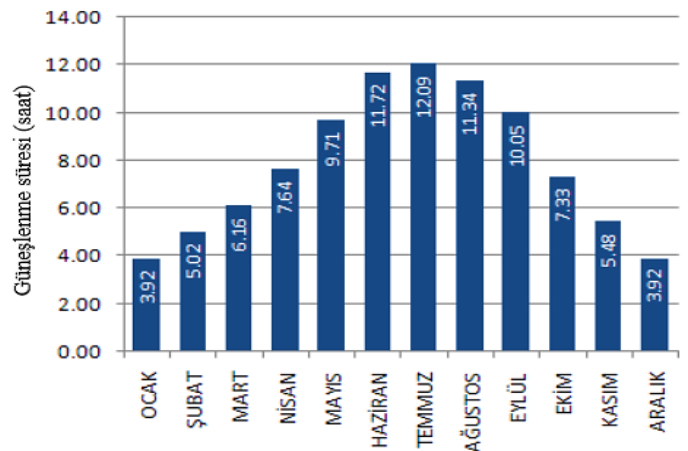
Şekil 2. Batman üniversitesi konumu

2) Güneş Ve Rüzgâr Enerji Potansiyelleri

Şekil 3'te görüldüğü gibi Batman ilinin minimum ışınlam değeri $1,77 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ ile aralık ayında, maksimum ışınlam değeri $6,78 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ ile temmuz ayında görülmektedir. Yıllık ortalama ışınlam değeri $4,318 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ 'dür [25].



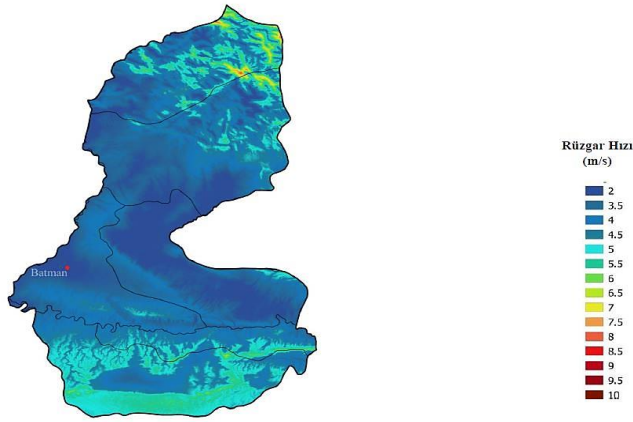
Şekil 3. Batman ili global ışınlam değerleri ($\text{kWh/m}^2/\text{gün}$)



Şekil 4. Batman ili güneşlenme süreleri (saat)

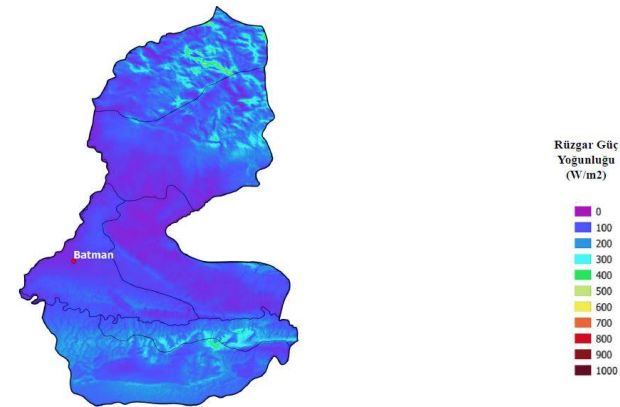
Şekil 4'te minimum güneşlenme süresi 3,92 saat ile aralık ve ocak aylarında, maksimum güneşlenme süresi 12,09 saat ile temmuz ayında görülmektedir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 7,906 saat olarak hesaplanmıştır [25].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayımlanan verilere göre, Batman ilinin 100 metrede minimum rüzgâr hızı 1,60 m/s, maksimum rüzgâr hızı 8,21 m/s olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama rüzgâr hızı 4,002 m/s'dir. Şekil 5'te Batman ili rüzgâr hızı dağılımı gösterilmiştir [26, 27].



Şekil 5. Batman ili rüzgâr hızı dağılımı (m/s)

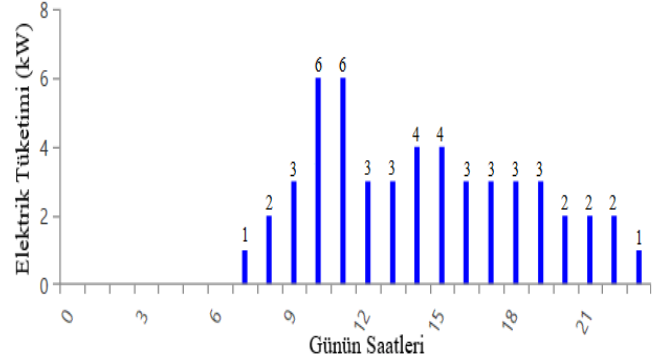
ETKB tarafından yayımlanan verilere göre, 100 metrede minimum güç yoğunluğu 13,81 W/m², maksimum güç yoğunluğu 558,92 W/m² olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu 122,45 W/m² olarak hesaplanmıştır [26, 27]. Şekil 6'da Batman ili rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 6. Batman ili rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı (W/m²)

3) Yük Profili

Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'ne yenilenebilir kaynaklar (güneş ve rüzgâr enerjisi) ile elektrikli araç şarj istasyonu enerji ihtiyacı için hibrit mikro şebeke tasarımı gerçekleştirilmiştir. Günlük elektrik enerjisi ortalama tüketim değeri 51,07 kWh/gün olarak ve pik yük değeri 10.46 kW olarak hesaplanmıştır.

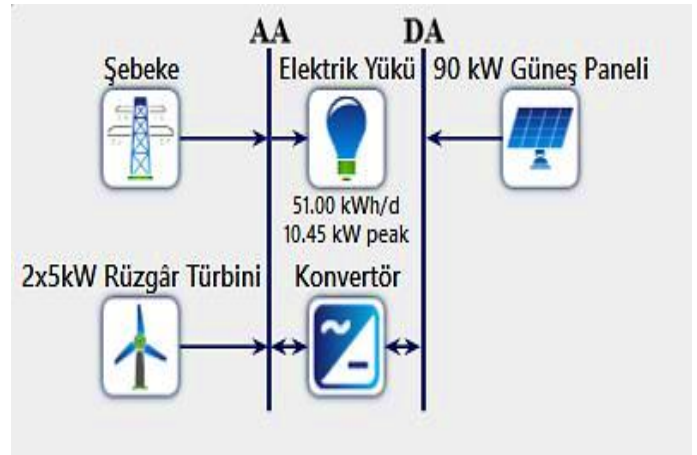


Şekil 7. Günlük ortalama elektrik tüketim grafiği

Şekil 7'de günlük ortalama elektrik tüketim grafiği verilmiştir. Kampüste gece mesai olmadığı için gece saatlerinde herhangi bir tüketim yoktur.

F. Hibrit Sistem Modeli

Üniversite kampüsümüz için hibrit sistem modeli Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Hibrit sistem modeli

Şekil 8'de şebekeye bağlı hibrit sistem modeli görülmektedir. Bu model oluşturulurken Üniversitemiz kampüsüne 2 araç kapasiteli şarj istasyonunun elektrik ihtiyacını karşılayabilecek bir model tasarlanmıştır. Şekil 7'de gösterilen günlük elektrik tüketim grafiği şarj istasyonunun çekeceği tahmini elektrik yük miktarını belirtmektedir. Hibrit sistem modeli tasarlanırken anlık üretilebilecek elektrik miktarının meteorolojik ve teknik

şartlara bağlı değişkenlik gösterebileceği ayrıca elektrikli araçların gün geçtikçe yaygınlaşmasından dolayı gelecek yıllarda talebin artacağı değerlendirilmektedir. Bu sebeple şarj istasyonu kapasitesinin gelecek yıllarda artacağı düşünüülerek, hibrit sistem boyutu 100 kW olarak seçilmiştir.

Hibrit sistem modelinin tasarımında, yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok kullanılan, fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbin (RT) sistemleri kullanılmıştır. Güneş ve rüzgâr enerji potansiyel değerleri Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde Batman ilinin güneş enerji potansiyeli, rüzgâr enerji potansiyelinden daha büyük olduğu görülmektedir. Tablo 1'de maliyet özetine baktığımızda, 90 kW boyutunda fotovoltaik sistemin kurulum maliyetinin 40.500 \$ ve 10 kW boyutunda rüzgâr türbin sisteminin kurulum maliyeti ise 20.000 \$'dır. Birim maliyet olarak hesaplanırsa fotovoltaik sistemin daha ekonomik olduğu görülmektedir. Bu sebeple fotovoltaik sistem boyutu 90 kW, rüzgâr türbin sistem boyutu 10 kW olarak seçilmiştir. Şebekeye bağlı bir sistem seçilmesinin nedeni olumsuz hava koşullarında ve yeterli enerji üretilmediği durumlarda şebekeden beslenmek içindir.

Fotovoltaik (FV) sistemin adı Jinko Solar JKM350M-72-J4 350 W'tır, nominal kapasite 350 W_p (Watt-peak) değerine sahiptir. Sıcaklık katsayısı 44,9 °C, verimlilik %13'tür ve 90 kW boyutundadır. Rüzgâr türbinin adı AWS HC 5 kW, 2 adettir ve toplam gücü 10 kW'tır. 1 adet 100 kW boyutunda standart konvertör bulunmaktadır.

G. Simülasyon Sonuçları

1) Maliyet Özeti

Tablo 1'de görüldüğü gibi sermaye toplamı 66.500 \$, yenileme maliyeti 2.545,64 \$ ve toplam 8.599,82 \$ kazanç elde edilmektedir. Konvertör yenileme süresi 15 yıl, diğer bileşenlerin yenileme süresi 25 yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1.
Maliyet özeti

Bileşen	Sermaye (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme & Bakım (\$)	Toplam (\$)
Rüzgâr Türbinini	20.000 \$	0 \$	12.927,52 \$	32.927,52 \$
Güneş Paneli	40.500 \$	0 \$	6.463,76 \$	46.963,76 \$
Şebeke	0 \$	0 \$	79.357,98 \$	79.357,98 \$
Konvertör	6.000 \$	2.545,64 \$	0 \$	8.545,64 \$
Sistem	66.500 \$	2.545,64 \$	59.950,23 \$	8.599,82 \$

Tablo 2.

Ekonomik değerler

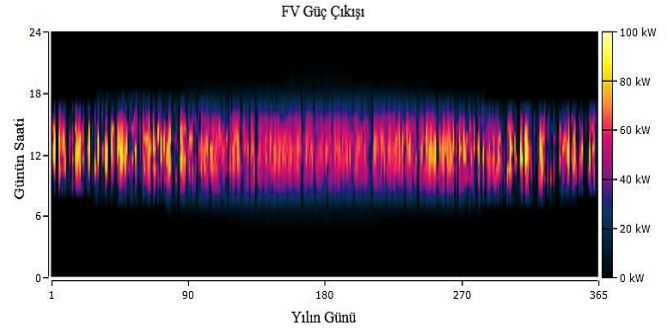
IRR (%)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	NPC (\$)	LCOE (\$)
% 13	7	8.599,82 \$	0,0045 \$

IRR: İç getiri oranı (Internal rate of return), NPC: Net bugünkü maliyet (Net Present Cost), LCOE: Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Levelized cost of energy)

Tablo 2 incelendiğinde iç getiri oranı %13, sistem amortisman süresi 7 yıl, birim enerji fiyatının ise 0,045 \$ olduğu görülmektedir.

2) Enerji Üretimi

Şekil 9'da fotovoltaik sistem güç çıkış grafiği görülmektedir.



Şekil 9. Fotovoltaik Güç Çıkışı

Tablo 3.

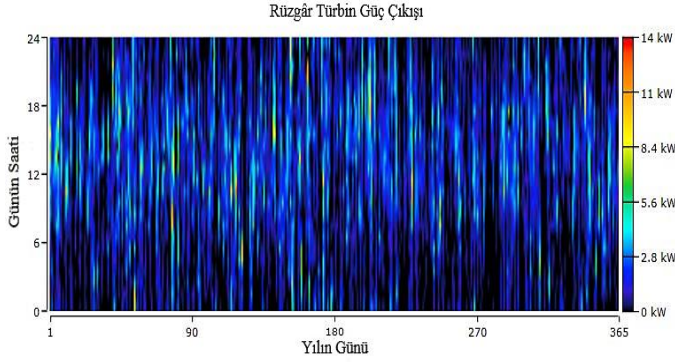
Fotovoltaik sistem güç çıkış değerleri

Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	90,4	kW
Ortalama Çıkış	386	kWh/gün
Çalışma Saati	4.386	h/yıl
Kapasite Faktörü	17,9	%
Toplam Üretim	140.757	kWh/yıl

k: 10³, W: Watt, h: Saat

Tablo 3'te FV sistem güç çıkış değerleri gösterilmiştir. Minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 90,4 kW ve ortalama güç çıkış değeri 386 kWh/gün olmuştur. Güneş panelleri yılda 4.386 saat çalışmaktadır. Toplam Üretim 140.757 kWh/yıl'dır.

Şekil 10'da fotovoltaik sistem güç çıkış grafiği görülmektedir.



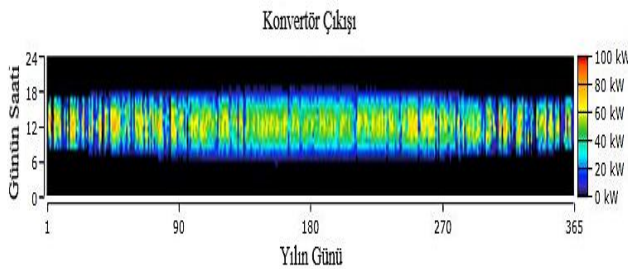
Şekil 10. Rüzgâr Türbin Güç Çıkışı

Tablo 4.
Rüzgâr türbin güç çıkış değerleri

Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	12,7	kW
Ortalama Çıkış	1,21	kW
Çalışma Saati	6.746	h/yıl
Kapasite Faktörü	11,9	%
Toplam Üretim	10.600	kWh/yıl

Tablo 4’te RT sistem güç çıkış değerleri gösterilmiştir. Minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 12,7 kW ve ortalama güç çıkış değeri 1,21 kW olmuştur. Rüzgâr türbinleri yılda 6.746 saat çalışmaktadır. Toplam Üretim 10.600 kWh/yıl’dır.

Şekil 11’de konvertör çıkışı görülmektedir.



Şekil 11. Konvertör Çıkışı

Tablo 5.
Konvertör çıkış değerleri

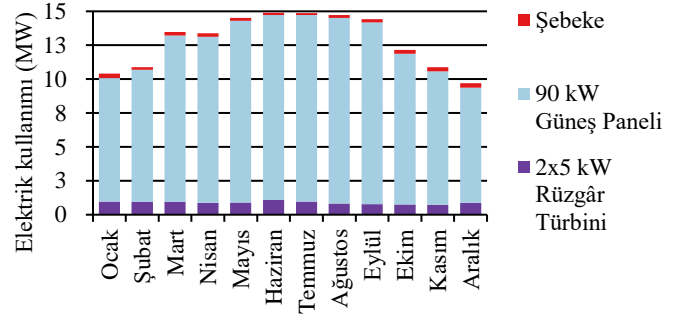
Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kWh/yıl
Maksimum Çıkış	85,9	kWh/yıl
Ortalama Çıkış	15,3	kWh/yıl
Çalışma Saati	4.386	h/yıl
Kapasite Faktörü	15,3	%

Tablo 5’te konvertör güç çıkış değerleri gösterilmiştir. Minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 85,9 kW ve ortalama güç çıkış değeri 15,3 kW olmuştur. Konvertör yılda 4.386 saat çalışmaktadır.

Tablo 6.
Kullanım değerleri

Bileşen	Miktar (kWh/yıl)	Yüzde (%)
Jinko Solar JKM350M	140.757	% 91,2
AWS HC 5	10.600	% 6,87
Şebeke alımı	2.931	% 1,90
Toplam	154.288	% 100

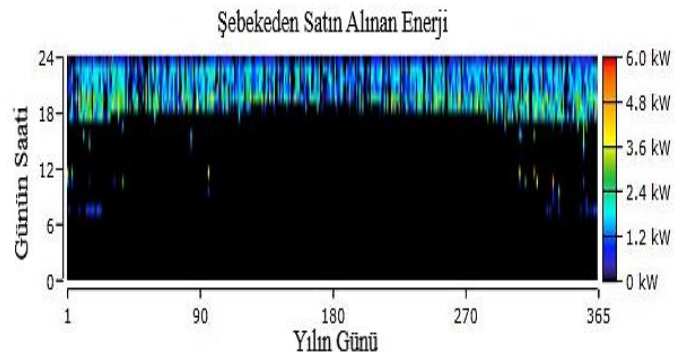
Tablo 6’da yıllık elektrik kullanım değerleri verilmiştir. Buna göre güneş panellerinden elde edilen enerji tüm sistemin %91,2’sini, rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerji %6,87’sini, şebekeden alım ise %1,90’ını oluşturmaktadır ve toplam 154.288 kWh/yıl elektrik kullanılmaktadır. Şekil 12’de aylık elektrik kullanımı grafiği gösterilmiştir.



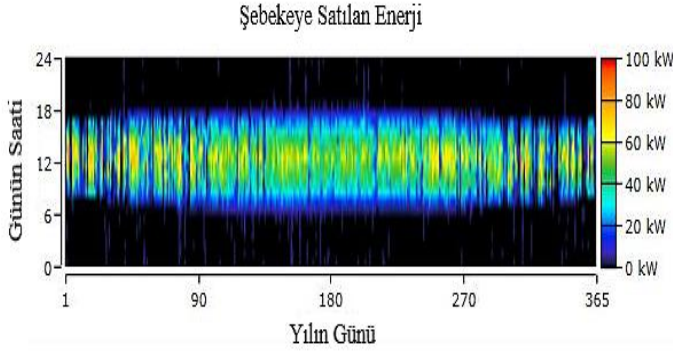
Şekil 12. Aylık elektrik kullanımı

3) Enerji Alım-Satım Değerleri

Şekil 13’te Şebekeden satın alınan enerji grafiği ve Şekil 14’te Şebekeye satılan enerji grafiği gösterilmiştir.



Şekil 13. Şebekeden satın alınan enerji



Şekil 14. Şebekeye satılan enerji

Tablo 7. Enerji alım-satım değerleri

Aylar	Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Satın Alınan Net Enerji (kWh)	Pik Yük (kW)	Enerji Ücreti (\$)
Ocak	317	8.394	-8.077	4,73	-387,99 \$
Şubat	207	9.016	-8.809	4,11	-430,10 \$
Mart	257	11.214	-10.957	4,17	-534,99 \$
Nisan	244	11.218	-10.974	4,07	-536,48 \$
Mayıs	208	12.288	-12.080	4,47	-593,62 \$
Haziran	158	12.641	-12.483	4,87	-616,26 \$
Temmuz	153	12.626	-12.473	3,54	-615,97 \$
Ağustos	222	12.412	-12.190	3,72	-598,40 \$
Eylül	242	12.190	-11.948	4,48	-585,26 \$
Ekim	266	10.030	-9.763	4,35	-474,85 \$
Kasım	315	8.884	-8.569	5,63	-412,72 \$
Aralık	341	7.698	-7.356	5,19	-350,75 \$
Yıllık	2.931	128.609	-125.679	5,63	-6.137 \$

Enerji maliyet değerlerinin eksi değer alması üreticinin kazanç elde ettiği manasına gelmektedir [8, 20]. Tablo 7 incelendiğinde yıllık alınan enerji 2931 kWh, satılan enerji 128.609 kWh ve satın alınan net enerji -125.679 kWh'tir. Yıllık enerji ücretinden 6.137 \$ kâr elde edilmektedir.

4) Emisyon Değerleri

Tablo 8. Emisyon değerleri

Miktar	Değer	Birim
CO2	1.852	kg/yıl
SO2	8,03	kg/yıl
NO2	3,93	kg/yıl

CO2: Karbondioksit, SO2: Kükürt dioksit, NO2: Azot dioksit

Tablo 8'de yıllık emisyon değerleri gösterilmektedir. Şebekeye bağlı bir sistemi simüle ederken HOMER Pro programı, toplam şebeke satın alımlarından toplam şebeke satışlarının çıkarılmasıyla, elde edilen net şebeke satın alımlarını hesaplamaktadır. Net şebeke alımlarıyla ilişkili her kirleticinin emisyonunu hesaplamak için HOMER Pro, net şebeke satın alımlarını (kWh cinsinden) her kirleticiye

ilişkin emisyon faktörüyle (g/kWh cinsinden) çarpılmaktadır [28]. Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi ile sağlanacak sera gazı salım azaltım hesaplamalarına yönelik faktörlere yer vermektedir. Yeni kurulacak bir güneş ya da rüzgâr enerji santrali ile üretilen her 1 kWh'lik elektrik için 0,6488 kg CO2 emisyonundan kaçınılacağını hesaplamışlardır [29]. Sonuçlar incelendiğinde yenilenebilir enerji kullanımı ile emisyon değerleri düşük seviyelere çekildiği gözlemlenmektedir.

5) Ekonomik Karşılaştırma

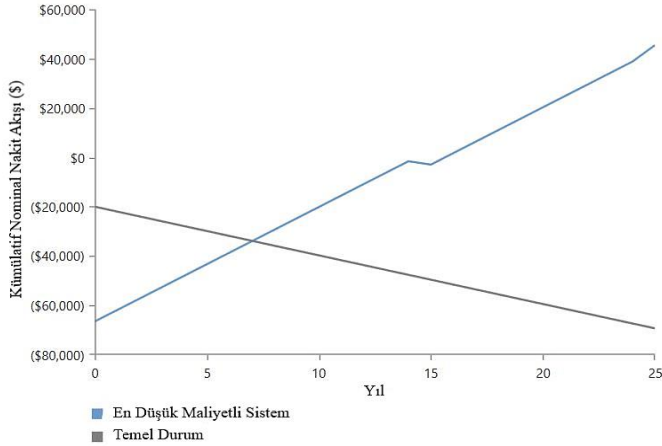
HOMER Pro, simülasyon çıktısı olarak bölgeye kurulabilecek farklı sistem analizi yapmaktadır. Yapılan analizde ilk olarak şebekeye bağlı hibrit sistemin ekonomik değerlemesini yapmıştır, Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir. İkinci seçenek olarak yalnız şebekeye bağlı rüzgâr türbin sisteminin ekonomik analizini yapmıştır. Hibrit sistem ve rüzgâr türbin sisteminin ekonomik karşılaştırması Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Ekonomik karşılaştırma

Bileşen	Hibrit Sistem (100 kW)	Rüzgâr Türbin Sistemi (10 kW)
Sermaye (\$)	66.500 \$	20.000 \$
Yenileme Maliyeti (\$)	2.545,64 \$	0 \$
İşletme & Bakım (\$)	59.950,23 \$	25.492,10 \$
Toplam (\$)	8.599,82 \$	45.492,10 \$
NPC (\$)	8.599,82 \$	45.492,10 \$
LCOE (\$)	0,0045 \$	0,1598 \$

Tablo 9 incelendiğinde hibrit sistemin toplam bugünkü maliyeti 8599,82 \$, rüzgâr türbin sisteminin toplam bugünkü maliyeti ise 45.492,10 \$'dır. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti sırasıyla 0,0045 \$, 0,1598 \$'dır.

HOMER Pro'da yapılan analiz sonucunda kazançlı sistemin hibrit sistem olduğu ve yıllara göre kazanç sağladığı, en düşük maliyetli sistem olarak Şekil 15'te gösterilmiştir. Rüzgâr türbin sistemi ise yıllara göre başlangıç durumundan zarar ettiği hesaplanmış ve temel durum olarak Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. Hibrit ve rüzgâr türbin sisteminin ekonomik karşılaştırması

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Bu çalışmada Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsüne, yenilenebilir kaynaklar ile hibrit mikro şebeke tasarımı yapılmış, teknik ve ekonomik analiz HOMER Pro programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonunun enerji ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Yenilenebilir kaynak kullanımı ile daha temiz bir çevre ve düşük emisyon değerleri ile yeşil enerjiye katkı sağlanmaktadır. Şebekeye bağlı bir sistem yapılmasının nedeni pil maliyetinden kurtulmak ve kesintisiz enerji sağlamaktır.

Yapılan analiz sonucunda, Batman ilinin güneş enerji potansiyelinin, rüzgâr enerji potansiyelinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Güneş paneli kapasite faktörü %17,9 ve rüzgâr türbini kapasite faktörü %11,9 olarak gerçekleşmiştir. Hibrit sistem tasarımı 100 kW boyutundadır. Fotovoltaik sistem boyutu 90 kW, rüzgâr türbin sistem boyutu 10 kW seçilmiştir. Hibrit sistemin kurulum maliyeti 66.500 \$, sistem amortisman süresi 7 yıl, birim enerji maliyeti 0,0045 \$ ve bugünkü net maliyet 8.599,82 \$ olarak hesaplanmıştır. Tüm sistemin %98,10'luk kısmı yenilenebilir enerji ile %1,90'lık kısmı şebeke alımından sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının %91,2'lik kısmı fotovoltaik (FV) sistem, %6,87'lik kısmı ise rüzgâr türbin (RT) sisteminden oluşmaktadır. Şebekeden alınan enerji 2931 kWh/yıl, satılan enerji 128.609 kWh/yıl olmuştur. Yıllık enerji ücretinden 6.137 \$ kâr elde edilmektedir. HOMER Pro programında optimum sistem için ekonomik karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma da hibrit sistem daha kazançlı çıkmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazarlar arasında ve ilgili kurumları arasında herhangi çıkar çatışması olmadığını bildirmişlerdir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK [COMPLIANCE WITH ETHICAL RULES]

Yazarlar bu makalenin etik kurul onayı veya herhangi bir özel izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR [REFERENCES]



- [1] Mirdalı, M. (2018). Limanlar için bütünlük yenilenebilir enerji güç sistemlerinin tekno-ekonomik analizi (Yüksek Lisans Tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 541837).
- [2] Ioakimidis, C. S., Thomas, D., Rycerski, P., & Genikomsakis, K. N. "Peak shaving and valley filling of power consumption profile in non-residential buildings using an electric vehicle parking lot." *Energy*, vol. 148, pp. 148-158, 2018.
- [3] Tür, M. R., & Apaydin, E. (2022, October). Optimization Of Electric Vehicle Charging Stations. In *2022 Global Energy Conference (GEC)* (pp. 197-201). IEEE.
- [4] Zengin, I., Vardakas, J. S., Zorba, N., & Verikoukis, C. V. "Analysis and quality of service evaluation of a fast charging station for electric vehicles." *Energy*, vol 112, pp. 669-678, 2016.
- [5] Alhazmi, Y. A., Mostafa, H. A., & Salama, M. M. Optimal allocation for electric vehicle charging stations using Trip Success Ratio." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 91, pp. 101-116, 2017.
- [6] International Energy Agency (IEA), (2023, May 6). Grid integration of electric vehicles [Online]. Available: <https://www.iea.org/?spotlight=grid-integration-of-electric-vehicles>
- [7] Ghorbani, N., Kasaeian, A., Toopshekan, A., Bahrami, L., & Maghami, A. "Optimizing a hybrid wind-PV-battery system using GA-PSO and MOPSO for reducing cost and increasing reliability." *Energy*, vol. 154, pp. 581-591, 2018..
- [8] Adalı, S. "Konut Kullanımında Hibrit enerji sisteminin kurulumunun ve maliyetinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği A.B.D., *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, Türkiye, 2022.
- [9] Dawoud, S. M. "Developing different hybrid renewable sources of residential loads as a reliable method to realize energy sustainability." *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60(2), pp. 2435-2445, 2021.
- [10] Kumar, S., Sethuraman, C. P., & Gopi, C. "Sizing optimization and techno-economic analysis of a hybrid renewable energy system using HOMER pro simulation." *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 80, no. 09, pp. 777-784, 2021.
- [11] Kahraman, M. Ü. (2018). Kütahya bölgesi güneş ve rüzgâr enerji potansiyellerinin tekno-ekonomik analizi (Master's thesis, *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü*).



- [12] Hailu Kebede, M., & Bekele Beyene, G. "Feasibility study of PV-wind-fuel cell hybrid power system for electrification of a rural village in Ethiopia." *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2018, 2018.
- [13] Mohamud, F. A., Çetinbaş, İ., Demirtaş, M., & Erkaya, H. H. (2023). Çeşitli elektrikli araç şarj modları sağlayan hibrit bir mikro şebekenin tasarımı ve optimizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1000(1000), 1-9.
- [14] TÜRKDOĞAN, S., DİLBER, S., & Barış, Ç. A. M. (2018). Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açından İncelenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 52-65.
- [15] Ahamed, A. F., Vibahar, R. R., Purusothaman, S., Gurudevan, M., & Ravivarma, P. "Optimization of Hybrid Microgrid of Renewable Energy Efficiency Using Homer Software." *Revista Geintec-Gestao Inovacao E Tecnologias*, vol. 11, no. 4, pp. 3427-3441, 2021.
- [16] Bekele, G. "Study into the potential and feasibility of a standalone solar-wind hybrid electric energy supply system" Ph.D. dissertation, *School of Industrial Engineering and Management (ITM)*, KTH, Brinellvägen, Stockholm, 2009
- [17] Yılmaz, U., Demirören, A., & Zeynelgil, H. L. "Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması." *Politeknik Dergisi*, c. 13, s. 3, ss. 215-223, 2010.
- [18] Tur, MR, Investigation of Optimum Reserve Capacity Requirement in Ancillary Services with Extreme Learning Machine, Volume 49, 2021 - Issue 20, Pages 1555-1566, doi.org/10.1080/15325008.2022.2134515
- [19] Öztürk, Z., Tosun, S., & Öztürk, A. "Örnek bir hibrit yenilenebilir enerji sisteminin HOMER ile modellenmesi, ekonomik ve teknik yönden analizleri." *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 286-299, 2019.
- [20] Mirdalı, M. "Limanlar için bütünleşik yenilenebilir enerji güç sistemlerinin tekno-ekonomik analizi," Yüksek Lisans Tezi, Deniz Ulaştırma Makinası A.B.D., *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [21] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons.
- [22] Graham, V. A., & Hollands, K. G. T. (1990). A method to generate synthetic hourly solar radiation globally. *Solar energy*, 44(6), 333-341.
- [23] Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). Wind energy explained: theory, design and application. John Wiley & Sons.
- [24] Tegner Anker, H., Egelund Olsen, B., & Rønne, A. (2009). Wind Energy and the Law: A Comparative Analysis. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 27(2), 145-178.
- [25] M. R. Tür, E. Apaydin, N. Obut, R. Nar, R. Temiz and N. Mirkan, "Harmonic Analysis of A Grid-Connected Solar Power Plant in Batman Province and Investigation of Power Quality," 2022, *11th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*, Istanbul, Turkey, 2022, pp. 508-513, doi: 10.1109/ICRERA55966.2022.9922878.
- [26] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (REPA), (2023, 29 Mayıs). Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli batman [Çevrimiçi]. Erişim: <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>
- [27] Tür, M. R. (2022). Energy Supply Security and Artificial Intelligence Applications. *Insight Turkey/Summer 2022: Embracing Emerging Technologies*, 213.
- [28] Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER), (2020). How homer calculates emissions, <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.14/>, [Erişim Tarihi, 15 Eylül 2023].
- [29] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), (2022). Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü, <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-turkiye-ulusal-elektrik-sebekesi-emisyon-faktoru>, [Erişim Tarihi: 16 Eylül 2023].

RESEARCH ARTICLE

Investigation of the Structural System Safety of an Existing Reinforced Concrete Public Building According to TBEC-2018

¹  M. Kemal Altınay, ^{*1}  R. Tuğrul Erdem

¹Manisa Celal Bayar University, Institute of Science, Civil Engineering Department, Manisa, Turkey
kemalaltinay506@hotmail.com, Orcid. 0000-0002-0155-6436,

^{*1}Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Manisa, Turkey
email.tugrul.erdem@cbu.edu.tr, Orcid.0000-0002-8895-7602

HIGHLIGHTS

- Performance of an existing public building
- The results are obtained by non-linear analysis
- It is aimed to present solutions for similar public buildings

Keywords:

- Pushover analysis
- Existing public building
- TBEC-2018
- Structural member

GRAPHICAL ABSTRACT

Earthquakes of different magnitudes occur frequently in our country, where active fault lines are concentrated. With the recent destructive earthquakes, studies have accelerated to evaluate the performance of the existing building stock. According to Turkey Building Earthquake Code-2018 (TBEC-2018), existing public buildings are classified as buildings that should be used after an earthquake. For this reason, it is important for public buildings to remain standing so that they can continue to serve after a possible major earthquake. In the scope of this study, the structural seismic performance of an existing reinforced concrete public building has been evaluated by Protastructure computer software. First of all, the conformity of the carrier system to the static project has been inspected on site. Then, material tests have been carried out to determine the existing reinforcement condition and concrete strength. In the light of the information obtained, the structure has been modelled three dimensionally in the computer environment. By entering the location, local soil class, concrete class and reinforcement details of the existing building, the damage conditions in the structural members and accordingly the structural system safety of the building have been determined by non-linear pushover analysis method. According to the analysis results for different seismic levels, there are several vertical members in the collapse region. For this reason, it is seen that the structure has not provided the targeted performance levels. Finally, obtained results are presented by tables and figures and evaluations have been carried out.

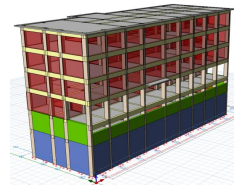


Figure A. Structural model

Article Info:

Received : 15 Sept 2023

Accepted : 22 Nov 2023

DOI: 10.53525/jster.1361250

*Correspondence:

R. Tuğrul Erdem
tugrul.erdem@cbu.edu.tr
Phone: +90 236 2012326

Aim of Article: It is aimed to investigate the seismic performance of an existing reinforced concrete public building.

Theory and Methodology: Concrete, reinforcement and soil properties of the building is obtained and non-linear analysis is performed to determine the damage situations of the structural members. Afterwards, performance of the building is obtained according to TBEC-2018.

Findings and Results: Damage states of the structural members are obtained for two different seismic levels. The results are presented by tables and figures.

Conclusion: Finally, it is seen that many horizontal and vertical members appear in the collapse damage region. So, it is concluded that the investigated building does not provide the expected performance level. Strengthening or reconstruction of the building shall be considered.



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

Mevcut Betonarme Bir Kamu Binasının Taşıyıcı Sistem Güvenliğinin TBDY-2018'e Göre Araştırılması

¹ M. Kemal Altınay, ^{*1} R. Tuğrul Erdem

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye
kemalaltinay506@hotmail.com, Orcid. 0000-0002-0155-6436,

^{*1}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye
email.tugrul.erdem@cbu.edu.tr, Orcid.0000-0002-8895-7602

Alıntı / Citation :

Altınay M.K, Erdem, R.T. (2023). *Investigation of the Structural System Safety of an Existing Reinforced Concrete Public Building According to TBEC-2018*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(2): 112-123. DOI: 10.53525/jster.1361250

ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Bu çalışma mevcut kamu binasının performansı hakkında literatüre katkı sunmaktadır
- Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan analiz ile elde edilmiştir.
- Benzer projeye sahip kamu binalarının performansı hakkında fikir sahibi olunmuştur.

Makale Bilgileri / Article Info

Geliş Tarihi : 15 Eylül 2023
Kabul Tarihi : 22 Kasım 2023

DOI: 10.53525/jster.1361250

*Sorumlu Yazar:

R. Tuğrul Erdem,
tugrul.erdem@cbu.edu.tr
Tel: +90 236 2012326

ÖZET / ABSTRACT

Aktif fay hatlarının yoğun olarak bulunduğu ülkemizde, sıklıkla değişik büyüklüklerde depremler meydana gelmektedir. Yaşanan son yıkıcı depremler ile birlikte mevcut yapı stokunun performansının değerlendirilmesi için çalışmalar giderek hız kazanmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'e (TBDY-2018) göre mevcut kamu binaları, deprem sonrasında kullanılması gereken bina sınıfına girmektedir. Bu sebeple, kamu binalarının olası büyük bir deprem sonrasında hizmete devam edebilmeleri için ayakta kalmaları önemlidir. Bu çalışma kapsamında, mevcut betonarme bir kamu binasının yapısal deprem performansı Protastructure bilgisayar yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Öncelikle, taşıyıcı sistemin statik projeye uygunluğu yerinde denetlenmiştir. Ardından, mevcut donatı durumu ve beton dayanımının belirlenmesi amacıyla malzeme testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında, yapı üç boyutlu olarak bilgisayar ortamında modellenmiştir. Mevcut binaya ait konum, yerel zemin sınıfı, beton sınıfı ve donatı detayları girilerek doğrusal olmayan itme analizi yöntemi ile yapısal elemanlarda oluşan hasar durumları ve buna bağlı olarak yapının taşıyıcı sistem güvenliği belirlenmiştir. Farklı deprem düzeyleri için yapılan analiz sonuçlarına göre, göçme bölgesinde birçok düşey taşıyıcı eleman bulunmaktadır. Bu sebeple, yapının hedeflenen performans düzeylerini karşılamadığı görülmüştür. Son olarak, çalışmadan elde edilen sonuçlar tablolar ve şekiller halinde sunulmuş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İtme analizi, Mevcut kamu binası, TBDY-2018, Taşıyıcı eleman



I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Türkiye, coğrafi konum itibariyle Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır ve ülkemizi etkileyen Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattı olmak üzere 3 adet temel fay hattı bulunmaktadır. Bu sebeple, nüfusun büyük bir bölümü deprem riski ile karşı karşıyadır. Tarihsel dönemlerdeki deprem aktiviteleri incelendiğinde, ülkemizde deprem tehlikesinin ne denli yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Geçmişte yaşanan büyük depremler neticesinde, önemli can ve mal kayıpları meydana gelmiştir.

Günümüzde hali hazırda kullanılmakta olan TBDY-2018’de gerek yeni yapılacak binalar için tasarım esasları, gerekse de mevcut bina taşıyıcı sistemlerinin değerlendirilmesi için analizi adımları ayrıntılı olarak tanımlanmıştır [1]. Ayrıca, kullanılacak malzeme kalitesi ve yerel zemin sınıfları ile ilgili güncelleştirilmeler yapılmıştır. Bunun yanında, Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) ile yapıya ait koordinatlar girilerek, farklı deprem düzeyleri için spektrum parametreleri ifade edilmiştir [2]. Bu parametreler, binaların performans değerlendirmelerinde kullanılmaktadır.

Betonarme binalarda dikkat edilmesi gereken konuların başında, yük aktarımının doğru şekilde oluşturulması gelmektedir. Betonarme bir taşıyıcı sistemde yük aktarımı genel olarak döşemelerden kirişlere, kolonlara ve temellere şeklinde meydana gelmektedir. Bu sebeple, yüklerin yapı içerisinde saplama kiriş vb. gibi uygulamalar neticesinde fazla dolaşmadan en kısa yoldan temele aktarılması önemlidir. Yaşanan depremlerin ardından incelenen binalarda oluşan hasarlar incelendiğinde bazı hataların farklı yerlerde tekrarlandığı görülmektedir. Projelendirme aşamasında yapılan hatalar, düşük malzeme kalitesi, uygulama hataları, birleşim bölgelerinde donatı eksikliği, kısa kolon ve yumuşak kat oluşumu bu hatalardan bazılarıdır.

Yaşanan son yıkıcı depremler neticesinde, mevcut fonksiyonları sebebiyle depremden sonra hizmete devam etmesi gereken mevcut kamu binalarının performanslarının değerlendirilmesi daha fazla önem kazanmıştır. Kamu yapı stokunda, hazırlanan tip projeler ile farklı bölgelerde benzer mimari ile yürürlükteki deprem yönetmeliğine göre inşa edilen binalar bulunmaktadır. TBDY-2018’de tanımlanan yeni esaslar göz önüne alındığında, özellikle eski deprem yönetmeliklerine göre projelendirilen kamu binalarının taşıyıcı sistem güvenliklerinin incelenmesi öncelik arz

etmektedir. Literatürde, ülkemizdeki kamu binalarının performanslarının incelendiği çalışmaların sayısı giderek artmaktadır [3-7].

Performans kavramı, yapıların olası bir deprem etkisine karşı göstermesi beklenen davranışın bir ölçüsüdür. Yeni yapılacak ve mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi, TBDY-2018’de ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Performans analizinde, her ne kadar doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri tanımlanmış olsa da, doğrusal yöntemlerin kullanılabilmesi için binaların sağlaması gereken şartlar bulunmaktadır. Bunun yanında, daha detaylı analiz adımları içeren doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar literatürde yerini almıştır. [9-16]. Ayrıca, geçmişteki depremlere ait ivme kayıtlarından yararlanılan zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin kullanıldığı çalışmaların sayısı, gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte giderek artmaktadır [17-20].

Bu çalışmada, mevcut betonarme bir kamu binasının deprem performansı incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, yapının bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmış, mevcut zemin koşulları ve malzeme özellikleri ile donatı detayları, Prota Yazılım firmasına ait Protastructure Enterprise 2022 lisanslı programına girilmiştir [21]. Ardından, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan artımsal itme analizi yapıya uygulanmıştır. Her iki doğrultuda gerçekleştirilen analizler neticesinde, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları ve buna bağlı olarak yapının performans düzeyi elde edilmiştir. Kamu binaları için benzer projeler uygulanabilmektedir. Bu çalışmada, mevcut binanın doğrusal ötesi davranışı iki farklı deprem düzeyi için incelenmiştir. Bu sebeple, çalışmadan elde edilen sonuçların ileride yapılacak çalışmalar için faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

II. MALZEME VE YÖNTEM [MATERIALS AND METHOD]

İncelenen bina, 1991 tarihinde yapı kullanma belgesi almış bir belediye hizmet binasıdır. Bina, 2 adet bodrum kat, 1 adet zemin kat ve 3 adet normal kat olmak üzere toplam 6 kattan oluşmaktadır. Bina oturma alanı 383 m² olarak belirlenmiştir. Kat yükseklik değerleri, zemin katta 360 cm, normal katlarda 315 cm’dir. Bodrum kat yükseklikleri ise sırasıyla 315 ve 405 cm’dir. Yapının taşıyıcı sistem betonarmedir ve kirişli plak döşeme kullanılmıştır. Bina görünüşleri Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Bina cepheleri

Binanın mevcut beton dayanımını belirlemek amacıyla, bodrum katlar, zemin kat ve 1. kattan 3'er adet olmak üzere toplam 12 adet karot numunesi alınmıştır. Alınan

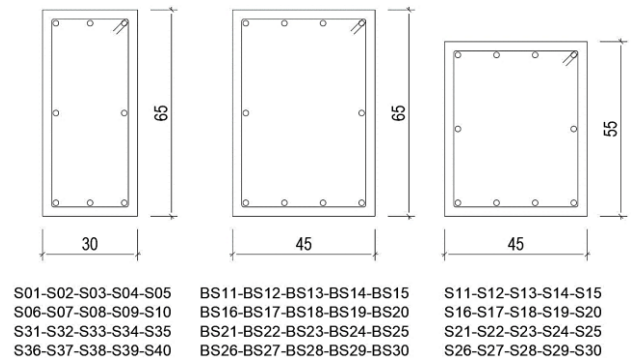
numunelere, aksel basınç yükü uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Karot test sonuçları

Yapı elemanı	Kat	Ortalama karot Çapı (mm)	Ortalama karot boyu (mm)	Basınç yüzeyi (cm ²)	Basınç yükü (kg)	Boy/Çap oranı düzeltme katsayısı	Beton basınç mukavemeti (N/mm ²)
S2B1	2.Bodrum	74	74	42.99	5120	1	11.9
S2B2	2.Bodrum	74	74	42.99	4570	1	10.6
S2B3	2.Bodrum	74	74	42.99	6170	1	14.4
S1B1	1.Bodrum	74	74	42.99	5680	1	13.2
S1B2	1.Bodrum	74	74	42.99	5420	1	12.6
S1B3	1.Bodrum	74	74	42.99	4340	1	10.1
S101	Zemin Kat	74	74	42.99	5460	1	12.7
S102	Zemin Kat	74	74	42.99	5150	1	12.0
S103	Zemin Kat	74	74	42.99	6000	1	14.0
S201	1.Kat	74	74	42.99	5300	1	12.3
S202	1.Kat	74	74	42.99	4890	1	11.4
S203	1.Kat	74	74	42.99	5100	1	11.9

Elde edilen karot numunesi sonuçlarına göre ortalama basınç mukavemeti 12.26 MPa, standart sapma ise 1.26 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu iki değer arasındaki fark 11.00 MPa'dır. Ortalama mukavemet değerine 0.85 katsayısının uygulanması ile elde edilen değer 10.40 MPa'dır. TBDY-2018 madde 15.2.5.3'e göre, projede tüm taşıyıcı elemanlar için kullanılacak beton basınç dayanımı C11 (11.00 MPa) olarak belirlenmiştir [1]. Taşıyıcı sistemin, projeye uygunluğunun belirlenmesi amacıyla ayrıntılı röleve çalışması yapılmıştır. Taşıyıcı sistemde kullanılan kolon boyutları 30x65, 45x65 ve 45x55 cm boyutlarındadır. Bodrum katlar haricinde, diğer tüm katlarda aynı kesit boyutları ve donatı düzeni kullanılmıştır. Yapıda düşey taşıyıcı olarak bodrum katlarda perdeler de mevcuttur. Kolon kesitleri ve donatı düzeni Şekil 2'de, enine ve boyuna donatı detayları ise Tablo 2'de görülmektedir. S11-S30 arasında isimlendirilen kolonlar, bodrum kattaki kolonların devamıdır ve kesit boyutları bodrum katlara göre

azalmıştır. Sıyırma testleri sonucunda, bodrum 1. katta yer alan sağ ve sol cephelerdeki perdeler ile S07 ve S08 kolon donatılarında korozyon tespit edilmiştir. Etriyelerde ise 135 derecelik kancaların uygulanmadığı görülmüştür. Ayrıca, yapısal elemanlarda farklı ve yetersiz paspayı mesafeleri ile karşılaşılmıştır.



Şekil 2. Kolon kesitleri



Tablo 2. Kolon boyut ve donatı detayları

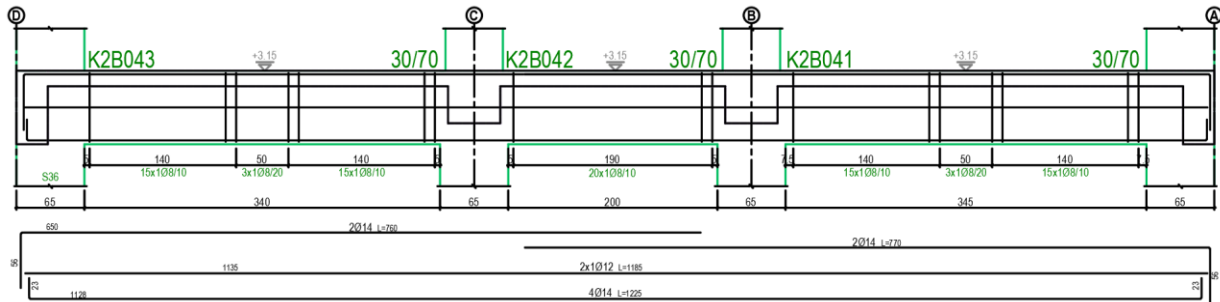
Kolon no	Kesit boyutları (cm)	Boyuna donatı	Enine donatı (cm)
BS11, BS12, BS13, BS14, BS15, BS16, BS17, BS18, BS19, BS20, BS21, BS22, BS23, BS24, BS25, BS26, BS27, BS28, BS29, BS30, (Bodrum katlar)	45x65	10Ø18	Ø8/20-30
S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20, S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S30, (Diğer katlar)	45x55	10Ø18	Ø8/20-30
S01, S02, S03, S4, S05 S06, S07, S08, S09, S10 S31, S32, S33, S34, S35 S36, S37, S38, S39, S40	30x65	8Ø18	Ø8/10-20

Döşeme kalınlıkları tüm katlarda 15 cm'dir. Döşeme hareketli yük değerleri 2.00 kN/m², en üst katta ise çatı da oluşan yükler sebebiyle 3.00 kN/m² olarak alınmıştır [22]. Yapıda, 20 cm yalıtımlı ve 10 cm yalıtımsız olmak üzere iki çeşit duvar kalınlığı kullanılmıştır. Kiriş kesit boyutları kat içerisinde farklılık göstermektedir. Montaj donatısı olarak 2Ø14 kullanılmıştır. Örnek olması açısından, röntgen analizi yapılan kirişlere ait kesit detayları Tablo 3'te, K2B042 kirişi donatı açılımı Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kiriş boyut ve donatı detayları

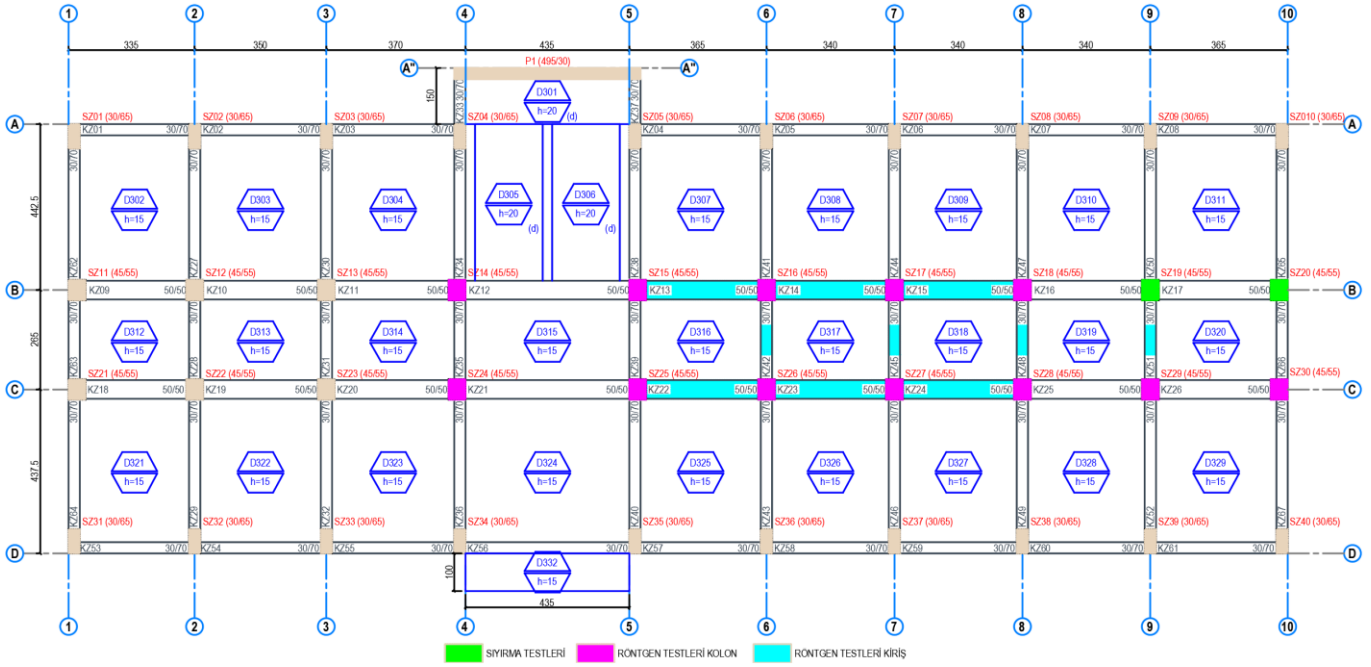
Kiriş no	Kesit boyutları (cm)	Açıklık	Gövde	Enine donatı (sarılma)	Enine Donatı (açıklık)
K2B023	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B024	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B025	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B026	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B027	30x70	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B021	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B039	30x70	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B042	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B045	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B048	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B021	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B035	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B039	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B042	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm

K1B045	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B013	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B022	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B023	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B014	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B015	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ18	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ19	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ20	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ21	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ22	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ23	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ24	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ25	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ26	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ27	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K142	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K122	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K123	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K113	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K151	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K145	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K114	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K115	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K148	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K124	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K222	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K242	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K245	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K223	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K214	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K248	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K224	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K239	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K215	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K325	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K351	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K342	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K316	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K315	50x50 cm	6Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K348	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K324	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K314	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K339	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K345	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K323	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm



Şekil 3. K2B042 kiriş donatı düzeni

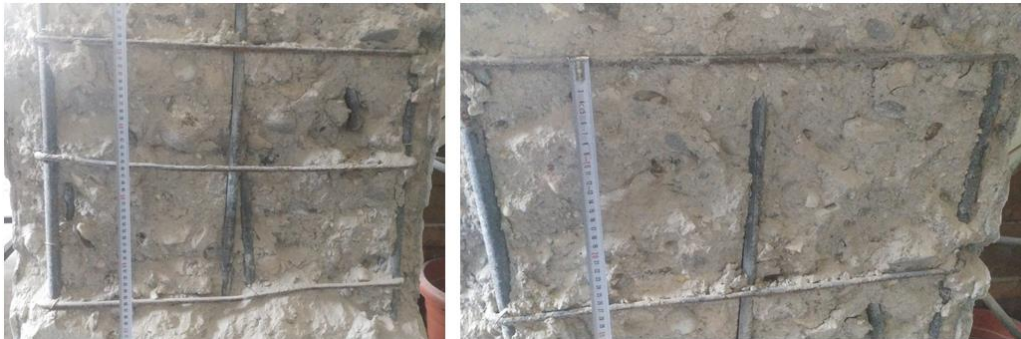
Mevcut binada, donatılarının belirlenmesi amacıyla giriş ve kolonlarda röntgen testlerinin yanı sıra sıyırma da yapılmıştır. Zemin kat üzerinde çalışma yapılan taşıyıcı sistem elemanları Şekil 4 üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 4. Zemin katta donatı tespiti yapılan elemanlar

Yapılan donatı çalışmaları sonucunda, tüm elemanlarda TBDY-2018’de kullanımına izin verilmeyen düz yüzeyle, dayanımı ve aderansı düşük olan BÇ I (S220) sınıfı donatı

çeliği kullanıldığı tespit edilmiştir. Sıyırma testlerine ait detaylar Şekil 5’te görülmektedir.



Şekil 5. Sıyırma testleri

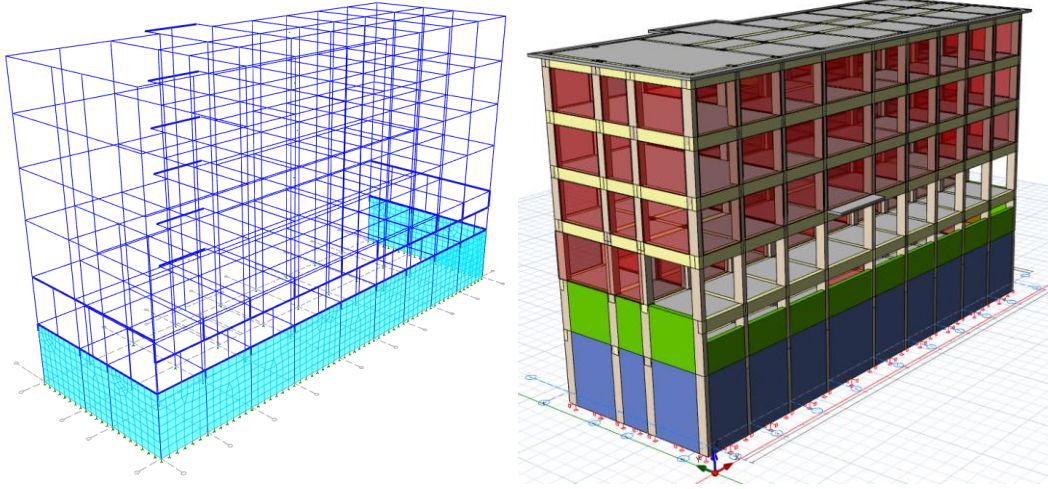
Belediye hizmet binası için yapılan geoteknik çalışmalar sonucunda, yerel zemin sınıfı orta sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları zemin cinsi özelliklerine sahip ZD olarak belirlenmiştir. Ayrıca, taşıma gücü yatak katsayısı

değeri 10.25 t/m^2 , zemin yatak katsayısı değeri ise 18600 t/m^3 tür. Mevcut betonarme binanın bulunduğu zeminde herhangi bir sıvılaşma riski bulunmamaktadır.

III. YAPISAL PERFORMANS ANALİZİ [STRUCTURAL PERFORMANCE ANALYSIS]

Mevcut bina performans analizi değerlendirmesi, TBDY-2018 Bölüm 15’te verilen esaslar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Yapı, öncelikle bilgisayar ortamında

modellenmiştir. Binaya ait çubuk eleman ve üç boyutlu görünüş Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Bina modeli

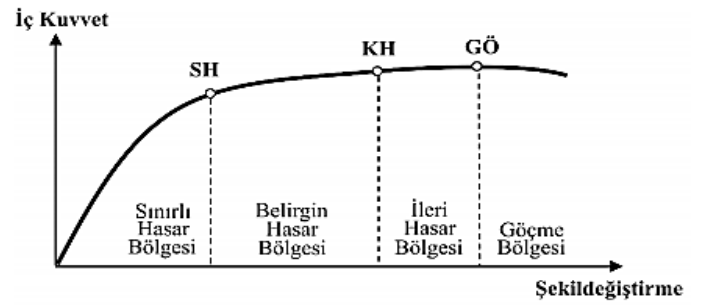
Modelleme işleminin ardından, TDTH uygulaması ile binaya ait konum, zemin ve deprem düzeyine ilişkin veriler sisteme girilmiştir ve interaktif web uygulamasından DD1 ve DD3 olmak üzere iki farklı deprem düzeyi için alınan değerler Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Spektral ivme değerleri

Parametre	DD1	DD3
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (SS)	1.747	0.366
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S1)	0.424	0.087
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (SDS)	1.747	0.552
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (SD1)	0.795	0.209

İncelenen mevcut bina, deprem sonrası kullanımı gereken bina sınıfına girdiği için bina kullanım sınıfı 1 ve bina önem katsayısı değeri 1.50 olarak alınmıştır. Yapının performans analizi için şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımı uygulanarak, DD1 için kontrollü hasar, DD3 için de sınırlı hasar performans hedeflerinin sağlanması gerekmektedir

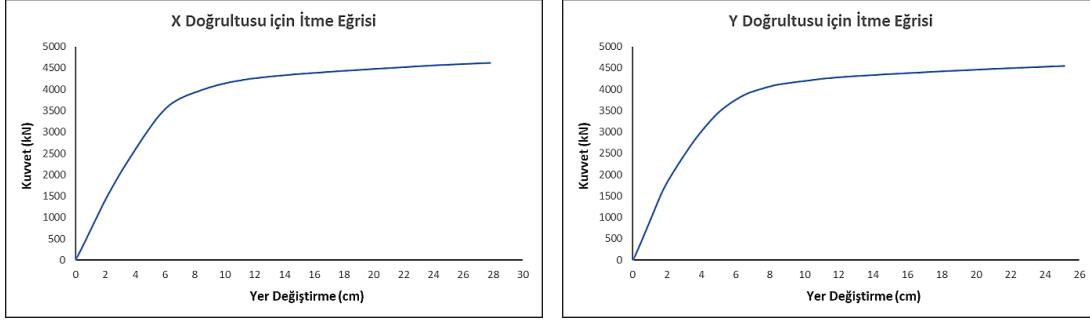
TBDY-2018'de, kesitler için Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları tanımlanmıştır. Ancak, gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir. Bu hasar sınır durumlarına bağlı olarak, kritik kesitlerinin hasar durumlarına göre oluşan hasar bölgeleri; Sınırlı Hasar Bölgesi (SHB), Belirgin Hasar Bölgesi (BHB), İleri Hasar Bölgesi (İHB) ve Göçme Bölgesi (GB) olarak Şekil 7'de isimlendirilmiştir [1].



Şekil 7. Hasar sınırları

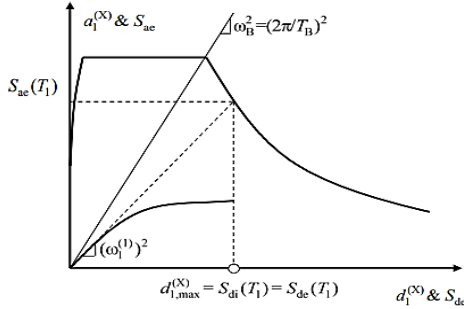
Deprem mühendisliğinde son yıllarda yapılan çalışmalar, klasik kuvvet esaslı tasarım yaklaşımı yerine yer değiştirme parametrelerinin göz önüne alındığı deplasman bazlı yaklaşımı esas almaktadır [23, 24]. Yeni yapılacak ya da mevcut betonarme binaların deprem performansları hakkında doğrusal yöntemlere göre daha gerçekçi sonuçlar veren statik ya da dinamik doğrusal olmayan yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, statik analiz yöntemleri daha pratik olmaları ve farklı bilgisayar yazılımlarında kolaylıkla uygulanabilmeleri sebebiyle tercih edilmektedir.

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden olan artımsal itme analizi ile yapının kuvvet ve deplasman ilişkisini ortaya koyan kapasite eğrisi elde edilmektedir. İtme analiz adımlarında, taban kesme kuvveti ve tepe noktası deplasmanın doğrusal ötesi değişimi izlenmektedir. Böylelikle, deplasman değerine bağlı olarak taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan deformasyonlar elde edilmektedir. Mevcut binada DD1 deprem düzeyi için elde edilen statik itme eğrileri Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Statik itme eğrileri

Statik itme analizinde, yapı hedef yer değiştirme noktasına kadar her bir doğrultuda itilerek, yapısal elemanlarda oluşan hasar durumları incelenmektedir. TBDY-2018’de tanımlanan koordinat dönüşümü ile modal kapasite diyagramı elde edilmektedir. Ardından, modal kapasite diyagramı, deprem spektrumu ile birlikte çizilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Modal kapasite diyagramı ve deprem spektrumu

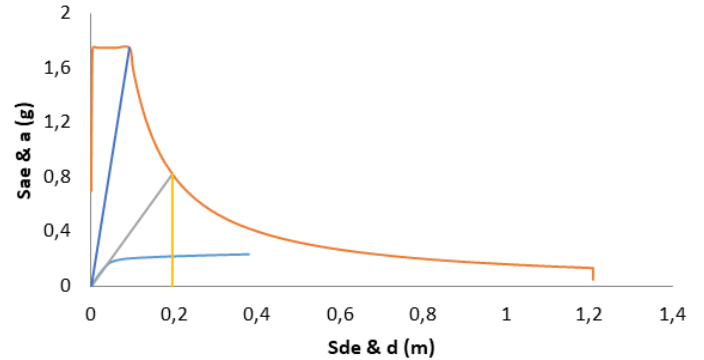
Mevcut binada deprem düzeyleri için elde edilen ve performans noktası olarak da isimlendirilen x ve y doğrultularındaki hedef yer değiştirme, DD1 için 25,85 cm ve 23,90 cm, DD3 için de 6.46 cm ve 6.64 cm olarak belirlenmiştir. Yapı, bu değerlere kadar itilerek, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumlarına göre performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Örnek olması açısından, DD1 deprem düzeyi için hesap adımları Tablo 5 ve Tablo 6’da verilmiştir. Ayrıca, hedef yer değiştirme tespiti için oluşturulan eğriler, Şekil 10 ve Şekil 11’de sunulmuştur.

Tablo 5. DD1 düzeyinde x doğrultusu için hesap adımları

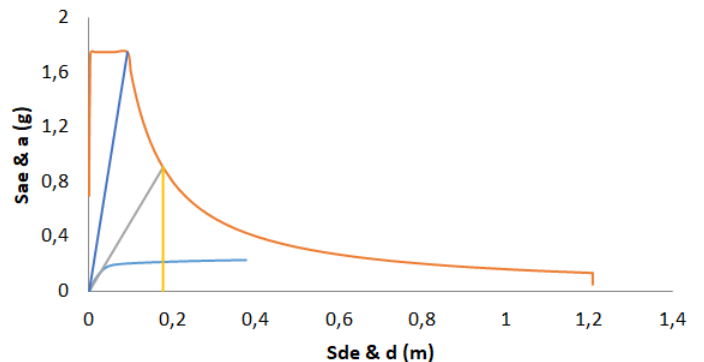
Parametre	Değer
1. Periyot değerlerine göre spektral yer değiştirme oranı	$T_1 = 0.582$ s ve $T_B = 0.455$ s için $Cr = 1.00$
2. T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme	$S_{di}(T_1) = C_R \times S_{de}(T_1) = 1 \times 0.20 = 0.20$ m $d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) \rightarrow d_{1,max}^{(x)} = 0.20$
3. Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirilmesi	$\Gamma = 43.08$ ve $\Phi_{di} = 0.03$
4. Modal katkı çarpanı	$U_{xN1}^{(p)} = \Phi_{di} \times \Gamma \times d_{1,max}^{(x)} = 0.03 \times 43.08 \times 0.20 = 0.2585$ m
5. Tepe noktası mod şekli genliği	$T_1 = 0.582$ s, $T_B = 0.455$ s için $Cr = 1.00$
6. Yer değiştirme değeri	$S_{di}(T_1) = C_R \times S_{de}(T_1) = 1 \times 0.20 = 0.20$ m $d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) \rightarrow d_{1,max}^{(x)} = 0.20$

Tablo 6. DD1 düzeyinde y doğrultusu için hesap adımları

Parametre	Değer
1. Periyot değerlerine göre spektral yer değiştirme oranı	$T_1 = 0.510$ s ve $T_B = 0.455$ s için $Cr = 1.00$
2. T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme	$S_{di}(T_1) = C_R \times S_{de}(T_1) = 1 \times 0.18 = 0.18$ m $d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) = 0.18$ m
3. Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirilmesi	$\Gamma = 44.26$ ve $\Phi_{di} = 0.03$
4. Modal katkı çarpanı	$U_{xN1}^{(p)} = \Phi_{di} \times \Gamma \times d_{1,max}^{(x)} = 0.03 \times 44.26 \times 0.18 = 0.2390$ m
5. Tepe noktası mod şekli genliği	$T_1 = 0.510$ s ve $T_B = 0.455$ s için $Cr = 1.00$
6. Yer değiştirme değeri	$S_{di}(T_1) = C_R \times S_{de}(T_1) = 1 \times 0.18 = 0.18$ m $d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) = 0.18$ m



Şekil 10. X doğrultusu için kapasite diyagramı ve spektrum eğrisi



Şekil 11. Y doğrultusu için kapasite diyagramı ve spektrum eğrisi



Her iki deprem düzeyi için tamamlanan artımsal itme analizleri sonucunda, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar bölgeleri belirlenmiştir. Oluşan hasar durumları,

kritik deprem doğrultusu için Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir. Kolon ve perde elemanlar, tabloda düşey eleman olarak isimlendirilmiştir.

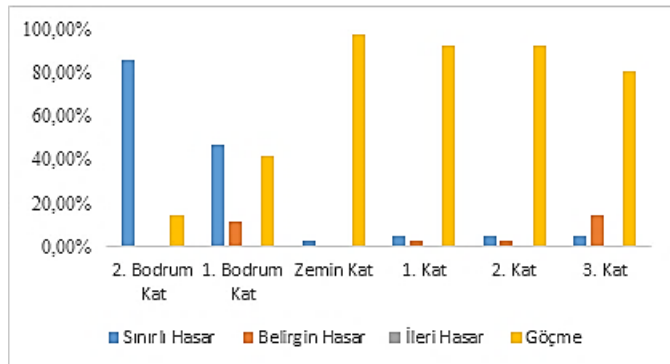
Tablo 7. DD1 deprem düzeyi için oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Düşey eleman	Bodrum 2. kat	53	0	0	9
	Bodrum 1. kat	29	7	0	26
	Zemin kat	1	0	0	40
	1. kat	2	1	0	38
	2. kat	2	1	0	38
	3. kat	2	6	0	33
Kiriş	Bodrum 2. kat	42	9	0	1
	Bodrum 1. kat	44	17	0	0
	Zemin kat	40	24	3	0
	1. kat	43	24	0	0
	2. kat	39	28	0	0
	3. kat	41	26	0	0

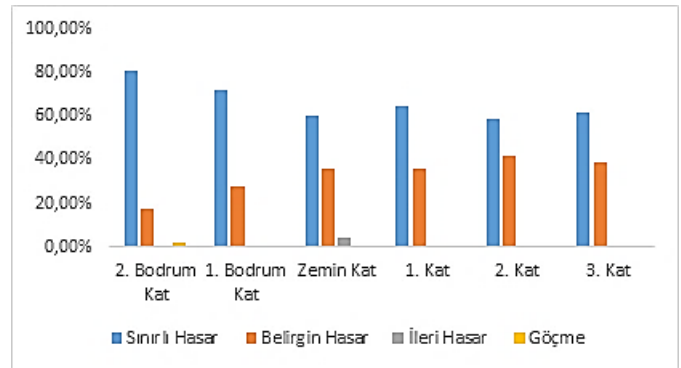
Tablo 8. DD3 deprem düzeyi için oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Düşey eleman	Bodrum 2. kat	53	0	0	9
	Bodrum 1. kat	29	7	0	26
	Zemin kat	1	0	0	40
	1. kat	3	1	0	37
	2. kat	2	2	0	37
	3. kat	6	2	0	33
Kiriş	Bodrum 2. kat	26	26	0	0
	Bodrum 1. kat	35	24	0	2
	Zemin kat	35	32	0	0
	1. kat	38	24	0	0
	2. kat	38	28	0	0
	3. kat	39	28	0	0

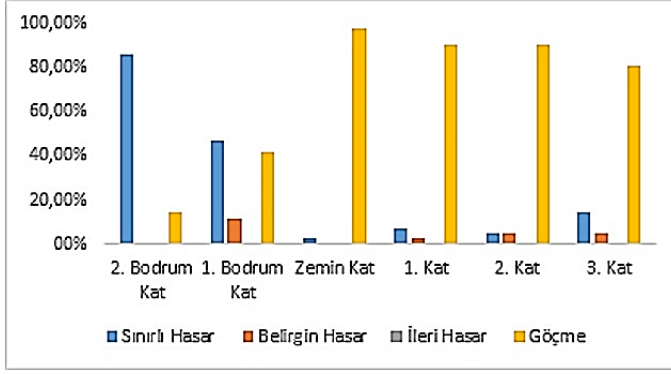
DD1 ve DD3 deprem düzeyleri için oluşan hasar durumlarının görsel olarak sunulması amacıyla, hasar bölgelerinde bulunan yapısal elemanların yüzde olarak dağılımları, kritik doğrultu için Şekil 12-15 arasında sunulmuştur.



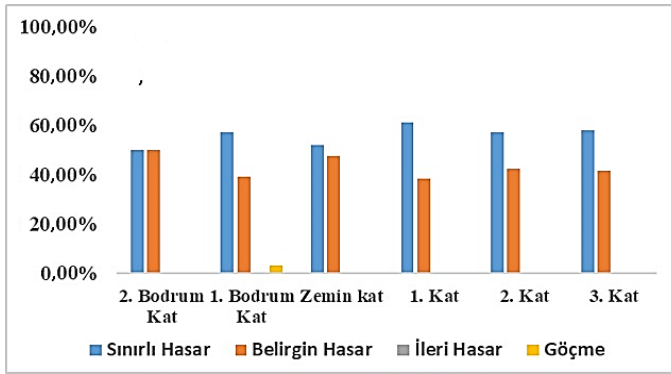
Şekil 12. DD1 deprem düzeyinde düşey elemanlar için oluşan hasar dağılımları



Şekil 13. DD1 deprem düzeyinde kirişler için oluşan hasar dağılımları



Şekil 14. DD3 deprem düzeyinde düşey elemanlar için oluşan hasar dağılımları



Şekil 15. DD3 deprem düzeyinde kirişler için oluşan hasar dağılımları

Mevcut binanın performans değerlendirme özeti Tablo 9 ve Tablo 10'da görülmektedir. Analizler sonucunda, rijitliğin en düşük olduğu ve kolon ebatlarında ani değişkenliğe maruz kalınan zemin kat, performans düzeyi en kritik kat olarak değerlendirilmiştir. Binanın her iki deprem düzeyi için sağlaması gereken performans düzeyi farklıdır. DD1 deprem düzeyi için kontrollü hasar, DD3 deprem düzeyi için ise sınırlı hasar performans hedefleri konulmuştur. Fakat her iki deprem düzeyi için de performans düzeyi göçme olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. DD1 deprem düzeyi için bina performansı

Deprem düzeyi	Performans hedefi	En kritik kat	Bina performans düzeyi	Durum
DD1	Kontrollü hasar	Zemin kat	Göçme	X

Tablo 10. DD3 deprem düzeyi için bina performansı

Deprem düzeyi	Performans hedefi	En kritik kat	Bina performans düzeyi	Durum
DD3	Sınırlı hasar	Zemin kat	Göçme	X

TBDY-2018'e göre, kontrollü hasar performans düzeyinin sağlanması için mevcut betonarme binanın herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %35'inin ileri hasar bölgesine geçebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. Sınırlı hasar düzeyi için yapılan hesap sonucunda, kirişlerin en fazla %20'si belirgin hasar bölgesine geçebilir. Ancak, diğer taşıyıcı elemanlarının tümünün sınırlı hasar bölgesinde olması gerekmektedir [24]. Mevcut belediye hizmet binası için yapılan analizler sonucunda, her iki deprem düzeyinde göçme bölgesinde kiriş ve kolonların olduğu görülmektedir. Bu sebeple, hedeflenen performans hedefleri karşılanamamıştır.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Ülkemizde yaşanan son büyük depremler neticesinde, yapı stokunun büyük bir kısmını oluşturan mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla çalışmalar giderek artmaktadır. Özellikle, bina kullanım amaçlarına bağlı olarak deprem sonrasında kullanılması gereken mevcut binaların taşıyıcı sistem güvenliklerinin belirlenmesi önemlidir. Mevcut binalardaki performans hedeflerinin sağlanamaması durumunda, binanın yıkılıp, tekrar inşa edilmesi ya da ekonomik açıdan da uygun olması şartıyla güçlendirme yöntemlerinden bir ya da birkaçı uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada, mevcut betonarme bir kamu binasının taşıyıcı sistem güvenliği araştırılmıştır. Yerinde yapılan ölçümler ile binanın statik projesine uygunluğu incelenmiştir. Daha sonra, yapılan malzeme deneyleri ile mevcut beton dayanımı ve taşıyıcı elemanlardaki donatı düzeni elde edilmiştir. Binanın beton sınıfı C11, donatı çeliği sınıfı ise düz donatılardan oluşan BÇI olarak belirlenmiştir. Yüksek dayanımlı beton ve nervürlü donatı kullanılmadığı için, beton ve donatı arasında yüksek düzeyde aderans bulunmamaktadır.

Mevcut betonarme bina bilgisayar ortamında modellenerek, doğrusal olmayan itme analizi her iki deprem doğrultusunda binaya uygulanmıştır. Binanın kullanım amacına bağlı olarak, TBDY-2018'e göre iki farklı deprem düzeyi için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, her bir kat düzeyinde bulunan düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları elde edilmiştir. Bu hasar oranlarına bağlı olarak, binanın deprem performansı ortaya çıkarılmıştır.

Binanın sağlaması gereken performans hedefi, DD1 deprem düzeyi için kontrollü hasar, DD3 deprem düzeyi



için de sınırlı hasardır. Kontrollü hasar performans düzeyinde, can güvenliğini sağlamak üzere, yapısal elemanlarda onarılması mümkün olan hasar düzeyleri oluşabilmektedir. Sınırlı hasar performans düzeyinde ise yapısal elemanlarda sınırlı hasara izin verilmektedir. Kritik deprem doğrultusundaki analiz sonuçları incelendiğinde, DD1 düzeyi için 190 adet elemanın, DD3 düzeyi için de 184 adet elemanın göçme bölgesinde yer aldığı görülmektedir. Bu sebeple, hedeflenen performans düzeyi, her iki deprem düzeyi için elde edilememiştir.

Çalışmaya konu olan mevcut kamu binasının doğrusal olmayan analiz sonuçları incelendiğinde, birçok düşey taşıyıcı elemanın göçme bölgesinde bulunduğu belirlenmiştir. Hedeflenen performans düzeylerine ulaşamamanın en önemli sebepleri, beton basınç dayanımının düşük olması ve bazı kolonlarda yetersiz boyuna donatı alanı ile sarılma bölgelerinde kullanılan etriyelerin sıklaştırma yetersizliğidir.

Kolonlarda mantolama işlemi ve taşıyıcı sisteme ilave perde duvarların eklenmesi ile mevcut yapının güvenliği artırılabilir. Ancak, göçme bölgesinde bulunan elemanların fazlalığı sebebiyle, yapılacak güçlendirme çalışmasının maliyetinin de yüksek çıkacağı öngörülmektedir.

TBDY-2018, Bölüm 15 kapsamında mevcut betonarme binaların performans değerlendirmesi doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu çalışmada, yapının deprem performansının daha gerçekçi olarak elde edilebildiği doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, incelenen yapının mevcut kamu binası olması sebebiyle, iki farklı deprem düzeyi için analizler gerçekleştirilmiştir. Kamu binalarında tip projelerin uygulandığı hesaba katıldığında, bu çalışmadan elde edilen sonuçların benzer binalar için de yol gösterici olacağı ve çalışmanın deprem mühendisliği alanında literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazarlar arasında ve ilgili kurumları arasında herhangi çıkar çatışması olmadığını bildirmişlerdir.

KAYNAKLAR [REFERENCES]



- [1] TBDY-2018, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,” Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [2] “Türkiye Deprem Tehlike Haritası,” Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [3] C. Cicen, “Mevcut Bir Betonarme Kamu Binasının Performans Analizi ve Güçlendirilmesi,” *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
- [4] İ. Koçak, “Seçilen Bir Kamu Binasının Doğrusal Ötesi Davranışında Beton Dayanımı ve Etriye Aralığının Etkisi,” *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2007.
- [5] H. Bilgin, “Kamu Yapılarının Deprem Performanslarının Doğrusal Ötesi Analiz Yöntemleriyle Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri,” *Doktora Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2007.
- [6] A. Boztepe, “Bir Kamu Binasının Doğrusal Olmayan Davranışının Mevcut Yönetmeliklere Göre İncelenmesi,” *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2005.
- [7] İ. İ. Atabey and R. Kanit, “Yığma bir okul binasının deprem performans analizi.” *Selçuk Univ. J. of Eng. Sci.*, vol. 13, no. (1), 2014, pp. 1-11.
- [8] R. T. Erdem, “Performance evaluation of reinforced concrete buildings with softer ground floors,” *Gradevinar*, vol. 68, no. (1), 2016, pp. 39-49.
- [9] B. Uyan ve R. T. Erdem, “Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği bulunan betonarme binaların deprem performansının araştırılması,” *ALKÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 3, no. (3), 2021, pp. 42-54.
- [10] K. Golghate, B. Vijay, and S. Amit, “Pushover analysis of 4 storey’s reinforced concrete building,” *Int. J. of Latest Trends in Eng. and Tech.*, vol. 2, no. (3), 2013, pp. 80-84.
- [11] M. Bosco, A. F. Giovanna, A. Ghersi, E. Marino, and P. R. Rossi, “Seismic assessment of existing rc framed structures with in-plan irregularity by nonlinear static methods,” *Earth. and Struct.*, vol. 8, no. (2), 2015, pp. 401-422.
- [12] R. T. Erdem, and K. Karal, “Performance evaluation and strengthening of reinforced concrete buildings,” *Rev. de la Constr.*, vol. 21, no. (1), 2022, pp. 53-68.
- [13] L. Halder, and S. Paul, “Seismic damage evaluation of gravity load designed low rise rc building using nonlinear static method,” *Proc. Eng.*, vol. 144, 2016, pp. 1373-1380.
- [14] S. Foroughi ve S. B. Yüksel, “TBDY 2018’e göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile betonarme yapı sistemlerinin performans analizi,” *OKÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 5, no. (1), 2022, pp. 33-55.
- [15] L. Martins, and V. Silva, “Development of a fragility and vulnerability model for global seismic risk analyses,” *Bull. Earth. Eng.*, vol. 19, 2021, pp. 6719-6745.
- [16] F. Parisi, M. Scalvenzi, and E. Brunesi, “Performance limit states for progressive collapse analysis of reinforced concrete framed buildings,” *Struct.*, vol. 20, no. (1), 2019, pp. 68-84.
- [17] M. E. Öncü, B. Yön, ve Z. Ç. Ulucan, “Zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak binalardaki A3 düzensizliğinin incelenmesi,” *SDÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 13, no. (2), 2009, pp. 147-155.



- [18] D. Öztürk, ve K. B. Bozdoğan, “Elastik ötesi spektrum kullanılarak yapıların doğrusal olmayan analizi,” *Uluslar. Tek. Bil. Derg.*, vol. 5, no. (3), 2013, pp. 49-55.
- [19] A. S. Patil, and P. D. Kumbhar, “Time history analysis of multistoried rcc buildings for different seismic intensities,” *Int. J. Stuct. and Civ. Eng. Res.*, vol. 2, no. (3), 2013, pp. 1-8.
- [20] D. M. Seyedi, P. Gehl, J. Douglas, L. Davenne, N. Mezher, and S. Ghavamian, “Development of seismic fragility surfaces for reinforced concrete buildings by means of nonlinear time-history analysis,” *Earth. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 39, no. (1), 2010, pp. 91-108.
- [21] ProtaStructure 2022, Prota Yazılım, Ankara, 2022.
- [22] TS-498, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları,” Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [23] I. Gün, ve F. Tuncer, “Bursa’da yıkım kararı verilen tescilli betonarme yapıların deprem performans analizleri etkinliğinin tartışılması,” *Kent Akad.*, vol. 16, no. (1), 2023, pp. 297-317.
- [24] T. İbiş, ve H. Ulutaş, “Yeni yapılacak betonarme bir binanın TBDY 2018’e göre deprem performansının belirlenmesi,” *BEÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 10, no. (3), 2021, pp. 1104-1124.

REVIEW ARTICLE

A Mini-Review on SDR Based Radar Classification System: Recent Advances and Challenges

*  Seçkin Öncü, ¹  Ali Kara

*Gazi University, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey
seckin.oncu@tubitak.gov.tr, Orcid.0000-0001-6378-5691,

¹Gazi University, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey
akara@gazi.edu.tr, Orcid.0000-0001-6378-5691

HIGHLIGHTS

- Review of SDR based radar classification systems
- Potential problems and limitations
- Future directions

Keywords:

- Software Defined Radio
- Electronic Support Measures
- Radar Classification
- Parameter Extraction
- Clustering

GRAPHICAL ABSTRACT

The shift from analog to digital technologies has transformed radio systems, and Software Defined Radio (SDR) has introduced unparalleled flexibility and adaptability by executing operations through software-based approaches. In recent times, the burgeoning popularity of SDR has augmented their applicability within the realm of Electronic Support Measures (ESM), enabling their utilization for the purpose of radar classification. This short review aims to evaluate existing SDR based radar classification systems in the literature. Firstly, an overview of the existing SDR based radar classification systems is provided for the intended purpose. Subsequently, the process of SDR based radar classification is elucidated. Emphasis is then placed on the primary research obstacles encountered in SDR based radar classification. This is succeeded by a concise examination of unresolved matters to direct forthcoming research endeavors. Furthermore, a brief mention is made of the ongoing research studies conducted by the authors.

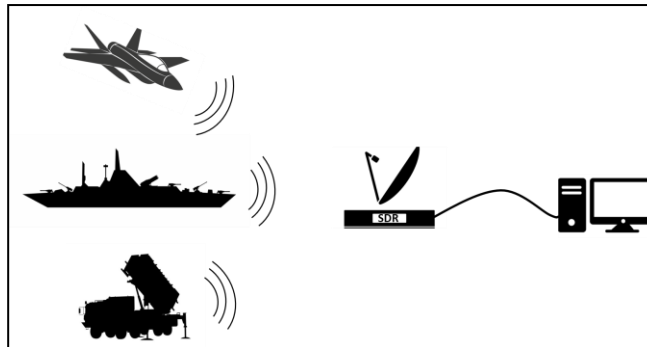


Figure A. SDR based radar classification scenario

Article Info:

Received: December 1,2023

Accepted: December 4, 2023

DOI: 10.53525/jster.1399129

*Correspondence:

Seçkin Öncü

seckin.oncu@tubitak.gov.tr

Phone: +90 545 5433833

Aim of Article: In this study, it was aimed to examine the SDR based radar classification methods in the literature and to establish the foundation for the ongoing study.

Theory and Methodology: Proposed SDR based radar classification process stages were explained.

Findings and Results: The importance of processing speed in SDR based radar classification systems, a factor directly impacted by both sampling rate and system bandwidth, is underscored.

Conclusion: This paper presents a review of SDR based radar classification systems and guides the ongoing project within the framework of the results found.



REVIEW ARTICLE

A Mini-Review on SDR Based Radar Classification System: Recent Advances and Challenges

¹ Seçkin Öncü, ² Ali Kara

¹Gazi University, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey
seckin.oncu@tubitak.gov.tr, Orcid.0000-0001-6378-5691,

²Gazi University, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey
akara@gazi.edu.tr, Orcid.0000-0001-6378-5691

Citation:

Öncü, S., Kara, A., (2023). A Mini-Review on SDR Based Radar Classification System: Recent Advances and Challenges, Journal of Science, Technology and Engineering Research, 4(2): 124-129. DOI: 10.53525/jster.1399129

HIGHLIGHTS

- Review of SDR based radar classification systems
- Potential problems and limitations
- Future directions

Article Info

Received: December 1, 2023

Accepted: December 4, 2023

DOI:

10.53525/jster.1399129

***Corresponding Author:**

Seçkin Öncü

seckin.oncu@tubitak.gov.tr

Phone: +90 545 5433833

ABSTRACT

The shift from analog to digital technologies has transformed radio systems, and Software Defined Radio (SDR) has introduced unparalleled flexibility and adaptability by executing operations through software-based approaches. In recent times, the burgeoning popularity of SDR has augmented their applicability within the realm of Electronic Support Measures (ESM), enabling their utilization for the purpose of radar classification. This short review aims to evaluate existing SDR based radar classification systems in the literature. Firstly, an overview of the existing SDR based radar classification systems is provided for the intended purpose. Subsequently, the process of SDR based radar classification is elucidated. Emphasis is then placed on the primary research obstacles encountered in SDR based radar classification. This is succeeded by a concise examination of unresolved matters to direct forthcoming research endeavors. Furthermore, a brief mention is made of the ongoing research studies conducted by the authors.

Keywords: Software Defined Radio, Electronic Support Measures, Radar Classification, Parameter Extraction, Clustering

I. INTRODUCTION

The principal operational objective of an Electronic Support Measures (ESM) system lies in the detection of potential threats and the surveillance of a designated spatial domain for the identification of electromagnetic emission sources. For this purpose, ESM system scrutinizes pulse-by-pulse measurements acquired through its receiver, facilitating the discernment of established radar signatures and signaling their existence [1].

A critical and fundamental responsibility of ESM systems involves extracting radar signal parameters.

These parameters, collectively known as pulse description word (PDW), include radio frequency (RF), pulse width (PW), pulse amplitude (PA), time of arrival (TOA), and angle of arrival (AOA). The examination of PDWs holds significance in identifying and categorizing distinct features of threat radars within electronic warfare (EW) systems [2].

The transformation of radio technology from analog to digital has permeated various aspects of radio systems, including system control, source and channel coding, and hardware technology. This paved the way for the software-defined radio (SDR) revolution, thereby broadening the horizons of radio-based services through



the elimination of constraints imposed by hardware-centric designs [3].

The introduction of SDR has yielded unparalleled levels of flexibility and adaptability by liberating radio systems from the constraints of fixed frequency bands, channel bandwidths, and modulation schemes. This liberation is achieved through the implementation of software-based signal processing techniques [3].

Recently, SDR has gained prominence in RF signal capture solutions across both military and civilian applications. The accelerated design evolution of SDR can be attributed to ongoing technological advancements and the widespread adoption of cost-effective digital signal processors (DSPs). The fundamental objective of an SDR system lies in the comprehensive digital processing of radio signals, facilitated by a dedicated DSPs [4]. In contrast to traditional radio systems, where modulation, demodulation, signal generation, signal processing, and signal coding are executed in the hardware domain, SDR performs these operations within the software realm. This unique characteristic imparts to SDR a high degree of flexibility, reconfigurability, and the capacity to selectively engage channels [5].

In this study, the preliminary phase of an ongoing project on the SDR based radar classification system is presented. In this context, the main purpose is to scrutinize the existing SDR based radar classification systems in the literature. In pursuit of this objective, a comprehensive literature review is undertaken to present the existing knowledge on SDR based radar classification system. The next step involves providing an overview of the foundational principles of SDR based radar classification system. In this context, prevalent research challenges are examined. Following this, the study delves into both unresolved issues and ongoing research endeavors by the authors. Hence, it is postulated that this research could provide valuable insights into the advancement of SDR based radar classification system.

The compositional framework of this article is delineated as follows. A comprehensive examination of extant studies on SDR based radar classification is conducted in Section II, exploring various perspectives. Section III provides the methodology of an SDR based radar classification system. Section IV deliberates on the

challenges inherent in SDR based radar classification, while Section V addresses open issues and outlines research directions. The article culminates in Section VI, presenting conclusions derived from the discussed content.

II. THE CURRENT STATE-OF-ART SDR BASED ESM SYSTEMS

Several studies in the literature have presented various applications of SDR based ESM systems. In [6], a passive radar receiver platform based on SDR technology showcased its ability to process an 8 MHz bandwidth for measuring transmitter positions. In [7], a novel approach for estimating direction-of-arrival, which divided the desired angular sector into a small number of channels is proposed. This approach achieved radar detection with reduced size, weight, cost, and computational requirements, employing a sampling rate of 2.4 MSps. In [8], an SDR-based ESM system that utilized a pulse detection algorithm to address the issue of undetected pulses caused by overlap is introduced. Experimental results demonstrated a sampling rate of 2.4 MSps. In [9], a scale mixture of normal distributions model was proposed for radar emitter classification and clustering. SDR technology was employed to receive radar signals at a sampling rate of 4.17 MSps, with clustering performed offline. Finally, in [10], an SDR-based radar detector with a processing capability of a 2.4 MHz bandwidth for radar classification is presented.

From the results, these studies highlight the significance of processing speed in SDR-based ESM receivers, which is directly influenced by the sampling rate and bandwidth. Furthermore, the complexity of the classification algorithm also impacts the processing speed.

III. METHODOLOGY

Although there are many different radar classification techniques, they all have the same fundamental processes such as the signal reception, signal parameter extraction, clustering, deinterleaving, database control and displaying the results [11].

A. Signal Reception with SDR

The SDR receiver comprises two principal modules: the analog front-end and the DSP components. The analog front-end is responsible for executing narrowband frequency down-conversion and subsequent analog-to-

digital conversion (ADC). During down-conversion, the incoming signal undergoes a shift from a high-frequency band to a lower intermediate frequency (IF) band, followed by ADC, which transforms the analog IF signal into a digital representation amenable to subsequent processing. The DSP components manage the residual signal processing responsibilities, encompassing demodulation, filtering, and channel decoding [12].

The direct conversion receiver (DCR) architecture is commonly employed in the RF front-end stage of SDR which performs IQ sampling theory [13].

B. Parameter Extraction

The extraction of radar pulse parameters plays a crucial role in the signal processing pipeline of radar classification. The input for pulse parameter extraction is provided by digitized IQ data which is sent by SDR to host PC. In the process of extracting these parameters, we will compute the signal's envelope to ascertain the envelope of each sample as follow [14]

$$r(t) = \sqrt{x_I(t)^2 + x_Q(t)^2} \quad (1)$$

where $r(t)$ is envelope of the bandpass signal, $x_I(t)$ and $x_Q(t)$ are quadrature components. Radar pulses are discerned by the identification of samples whose enveloped amplitude exceeds a predetermined threshold value. Another essential parameter to derive from pulse information is frequency, and it can be determined through diverse methods. In our study, we will utilize two approaches: Fast Fourier Transform (FFT) and Instantaneous Frequency Measurement (IFM).

FFT and IFM represent discrete signal processing methodologies characterized by unique applications and operational principles. FFT excels in scrutinizing the spectral composition of a signal across time, yielding valuable information regarding its frequency characteristics. Conversely, IFM is dedicated to discerning the instantaneous frequency of a signal, delivering real-time insights into its dynamic frequency variations [15].

C. Clustering

Clustering is another important process for radar classification. During this phase, the parameters extracted and designated as PDW serve as the input. AOA, RF, and PW emerge as pivotal parameters for clustering purposes. These parameters play a significant

role in the clustering algorithm, facilitating the differentiation of distinct radars within a multi-radar environment.

IV. RESEARCH CHALLENGES

Although the existing studies have made various contributions to the field of the SDR based ESM systems, there are still some certain difficulties and limitations needed to discuss in the development of a SDR based radar classification system.

A. Wideband Receiving

In order to achieve expanded frequency coverage, SDR systems necessitate operation at high sampling rates. However, this exigency mandates a proportional increase in processing speed. The intricate relationship between sampling rate and processing speed is crucial, as it directly influences the system's ability to effectively capture, process, and analyze signals across a wider spectrum. Consequently, the achievement of extended frequency coverage in SDR configurations entails a meticulous optimization of sampling rates and processing capabilities to ensure the seamless reception and manipulation of signals within the targeted frequency span.

B. Channel Limitation

SDR configurations may adopt either a singular or multiple channel structure. The singular channel architecture proves inadequate for AOA calculations. In a multi-channel structure, the pivotal determinants of efficacy include synchronization mechanisms and data processing speed. Nevertheless, the specific SDR under consideration is equipped with a two-channel configuration, rendering AOA calculations inherently unreliable.

V. OPEN ISSUES AND RESEARCH DIRECTIONS

From the discussion provided in the previous section, it is evident that there are some challenges in the implementation of the SDR based radar classification. One of the aspects to consider is the method of acquiring the signal in real-time without losing any samples, and subsequently utilizing it for further processing.

In order to increase the processing speed, the use of Graphical Processing Unit (GPU) parallelization is crucial. Traditionally, FFT computations heavily rely on the Central Processing Unit (CPU), resulting in memory



bottlenecks and impeding the execution of crucial tasks. However, by harnessing the parallel processing capabilities of the GPU, GPU accelerated FFT effectively transfers the computationally intensive FFT operations from the CPU, thereby freeing up resources for other essential calculations. This approach not only enhances the overall processing speed but also optimizes memory allocation and minimizes data transfers between the CPU and GPU [16].

On the other hand, because we are not able to calculate AOA parameter due to channel limitations, clustering will use RF and PW parameters only. For clustering task, Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) is particularly noteworthy among clustering algorithms. DBSCAN excels in managing noise, outliers, and variable data densities, standing out for its effectiveness. Unlike traditional algorithms dependent on predefined shapes or centroids, DBSCAN identifies clusters based on local data point density, providing robustness against noise and varied cluster shapes. Furthermore, its capability to detect clusters of arbitrary shapes and sizes makes DBSCAN well-suited for analyzing radar pulse data characterized by non-uniform densities and shapes [17].

VI. CONCLUSION

In this study, as a part of an ongoing project, a literature review is conducted to provide the current state of understanding of SDR based radar classification. In this context, the existing studies are presented, and the research challenges are discussed. One of the crucial discoveries indicates that in order to function at a broader range of frequencies, it is imperative to enhance the processing speed. It can be increase with GPU parallelization. Alternatively, in order to achieve precise classification, it is imperative to employ a proficient clustering algorithm. In this regard, the utilization of DBSCAN is recommended owing to its inherent benefits in extensive-scale scenarios.

Our current focus is on developing a radar classification system based on SDR technology that can operate across a broader range of frequencies. We aim to conduct a thorough experimental study to evaluate the performance of this system, which we plan to complete in the near future.

CONFLICTS OF INTEREST

They reported that there was no conflict of interest between the authors and their respective institutions.

RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS

In the studies carried out within the scope of this article, the rules of research and publication ethics were followed.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank the TUBITAK BILGEM ILTAREN staff for their assistance in this work.

REFERENCES

- [1] A. De Martino, "Introduction to Modern EW Systems," Artech, 2012.
- [2] D. Adamy, "Introduction to Electronic Warfare Modeling and Simulation," Artech, 2002.
- [3] J. Mitola, "The software radio architecture," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 33, no. 5, pp. 26-38, May 1995, doi: 10.1109/35.393001
- [4] A. M. Wyglinski, D. P. Orofino, M. N. Ettus, and T. W. Rondeau, "Revolutionizing software defined radio: case studies in hardware, software, and education," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 1, pp. 68-75, Jan. 2016, doi: 10.1109/MCOM.2016.7378428.
- [5] G. Baldini et al., "Security Aspects in Software Defined Radio and Cognitive Radio Networks: A Survey and A Way Ahead," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 2, pp. 355-379, Second Quarter 2012, doi: 10.1109/SURV.2011.032511.00097
- [6] T. Pető, "Multichannel passive radar receiver platform," 2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Budapest, Hungary, 2015, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICTON.2015.7193445.
- [7] R.G. Licursi de Mello and F. Rangel de Sousa, "Non-analytical direction-finding method as a key step in pursuing low size, weight, costs, and computational power in the deinterleaving of radar pulses," *IET Radar Sonar Navig.*, vol. 13, pp. 1876-1882, 2019, doi: 10.1049/iet-rsn.2018.5011.
- [8] R. Licursi de Mello and F. Rangel de Sousa, "Precise techniques to detect superimposed radar pulses on ESM systems," *IET Radar Sonar Navig.*, vol. 12, pp. 735-741, 2018, doi: 10.1049/iet-rsn.2017.0563.
- [9] G. Revillon, A. Mohammad-Djafari, and C. Enderli, "Radar emitters classification and clustering with a scale mixture of normal distributions," *IET Radar Sonar Navig.*, vol. 13, pp. 128-138, 2019, doi: 10.1049/iet-rsn.2018.5202.
- [10] R. G. Licursi de Mello, F. R. de Sousa, and C. Junqueira, "SDR-based radar-detectors embedded on tablet devices," 2017 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and



Optoelectronics Conference (IMOC), Aguas de Lindoia, Brazil, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/IMOC.2017.8121126.

[11] P. Sharma, K. K. Sarma and N. E. Mastorakis, "Artificial Intelligence Aided Electronic Warfare Systems- Recent Trends and Evolving Applications," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 224761-224780, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3044453.

[12] R. G. Machado and A. M. Wyglinski, "Software-Defined Radio: Bridging the Analog–Digital Divide," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 3, pp. 409-423, Mar. 2015, doi: 10.1109/JPROC.2015.2399173.

[13] A. Wyglinski and D. Pu, "Digital Communication Systems Engineering with Software-Defined Radio," Artech, 2013.

[14] B.R. Mahafza, "Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB," 3rd ed., Chapman and Hall/CRC, 2013, doi: 10.1201/b14904.


[15] İ. E. Ortatılı et al., "Real-time frequency parameter extraction for electronic support systems," 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak, Turkey, 2016, pp. 105-108, doi: 10.1109/SIU.2016.7495687.

[16] Li, W., et al.: Design of high-speed software defined radar with GPU accelerator. *IET Radar Sonar Navig.* 16(7), 1083–1094 (2022). <https://doi.org/10.1049/rsn2.12244>.

[17] M. Ester et al., "A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise," in *Kdd*, vol. 96, 1996, pp. 226–231.

REVIEW ARTICLE

Examining Mathematical Models for Power Quality in Generation, Transmission, and Distribution Systems

*  Mehmet Rida TUR, ¹  Mehmet Salih KAYA²

* Batman University, Faculty of Engineering and Architecture, Electrical Engineering Department, Batman, Türkiye
mrida.tur@batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5688-4624,

² Ministry of National Education Batman Provincial Directorate, Batman, Türkiye
ms-kaya@hotmail.com, Orcid. 0009-0005-5091-3371,

HIGHLIGHTS

- This article provides a general overview of production types and modeling techniques for power flow analysis during planning and operation.
- It highlights various production technologies, presents different models, and discusses some fundamental challenges related to current trends in smart grid networks.

Keywords:

- Mathematical Model
- Power Quality
- Distribution System
- Distributed Generation
- Transmission System

GRAPHICAL ABSTRACT

Power quality issues cause significant problems in production, transmission, and distribution electrical networks. Accurate detection and classification of potential problems are crucial to mitigate power quality issues. There are numerous studies in this field, and the initial research step in these studies is to obtain various distorted signals to test classification systems. In this context, the most common trend is to generate signals from mathematical models. In the literature, there are many models with significant differences among them. However, there is no comprehensive model that considers distortions of all types. This study presents a comprehensive mathematical model based on existing models in the literature. Power quality distortions can be rapidly and automatically generated. It is determined that changes in the direction of power flow in the distribution network are not limited to the distribution network alone, especially when there is high distributed energy penetration; they can also extend to transmission or sub-transmission systems. This article provides a general overview of production types and modeling techniques for power flow analysis during planning and operation. Additionally, it highlights different production technologies, presents various models, and discusses some fundamental challenges related to current trends towards smart grid networks. This study aims to support researchers in the modeling stage, with the goal of contributing to future research efforts.



Figure The name figure or table about given info and results

Article Info:

Received : October 22, 2023

Accepted : December 10, 2023

DOI: 10.53525/jster.1379621

*Correspondence:

Mehmet Rida Tur
mrida.tur@batman.edu.tr
Phone: +90 4882174239

Aim of Article: It presents a research on Mathematical Modeling and solution practices for Power Quality in Generation, Transmission and Distribution Systems.

Theory and Methodology: It provides a mathematical model based on commonly found models. The model also includes new types of combined disorders. Different situations have been taken into account and PQ disorders can be generated quickly and automatically.

Findings and Results: This paper presents a mathematical model that incorporates the largest number of different PQ distortions that we could find in the literature.

Conclusion: Models offered; They are categorized as constant power factor model, constant voltage model and variable reactive power model, and these models were developed for the purpose of integration into three-phase load flow analysis during the planning and operation of the distribution system. Overall, the review has identified fruitful key areas of active research work for the researcher's reference, and finally the challenges to the current trend towards smart grid networks are outlined.



Üretim, İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Güç Kalitesi İçin Matematiksel Modellerin İncelenmesi

* Mehmet Rida TUR, ¹ Mehmet Salih KAYA²

* Batman Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye
mrida.tur@batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5688-4624,

² Milli Eğitim Bakanlığı Batman İl Müdürlüğü, Batman, Türkiye
ms-kaya@hotmail.com, Orcid. 0009-0005-5091-3371,

Alıntı / Citation :

Tur, M.R., Kaya, M.S. (2023). *Examining Mathematical Models for Power Quality in Generation, Transmission, and Distribution Systems*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(2): 130-140. DOI: 10.53525/jster.1379621

ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Planlama ve işletme sırasında güç akışı analizi için üretim türleri ve modelleme tekniklerine genel bir bakış sunulması.
- Çeşitli üretim teknolojileri, farklı modeller sunulması ve akıllı şebeke ağlarındaki mevcut eğilimlerin temel zorluklarına bakış

Makale Bilgileri / Article Info

Geliş Tarihi : 22 Ekim 2023
Kabul Tarihi : 10 Aralık 2023

DOI: 10.53525/jster.1379621

*Sorumlu Yazar:

Mehmet Rida Tur
mrida.tur@batman.edu.tr
Phone: +90 4882174239

ÖZET / ABSTRACT

Güç kalitesi sorunları, üretim, iletim ve dağıtım elektrik şebekelerinde ciddi sorunlara neden olmaktadır. Güç kalitesi sorunlarını hafifletmek için olası sorunların doğru tespiti ve sınıflandırılması önemlidir. Bu alanda birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda ilk araştırma adımı, sınıflandırma sistemlerini test etmek için çeşitli bozulmuş sinyaller elde etmektir. Bu bağlamda, en yaygın eğilim matematiksel modellerden sinyal üretmektir. Literatürde, aralarında önemli farklar bulunan birçok model bulunmaktadır. Ancak, tüm çeşitlerdeki bozulmaları dikkate alan bütüncül bir model bulunmamaktadır. Bu çalışma, literatürde bulunan modellere dayalı bütüncül bir matematiksel model sunmaktadır. Güç kalitesi bozulmaları hızlı ve otomatik bir şekilde üretilebilir. Dağıtım şebekesinde güç akışının yönündeki değişikliğin, sadece dağıtım ağıyla sınırlı olmadığını, özellikle dağıtık enerji penetrasyonu yüksek olduğunda iletim veya alt iletim sistemlerine de uzanabileceğini belirlenmiştir. Bu makale, planlama ve işletme sırasında güç akışı analizi için üretim türlerini ve modelleme tekniklerine genel bir bakış sunmaktadır. Ayrıca, farklı üretim teknolojileri vurgulanmakta, farklı modelleri sunulmakta ve mevcut akıllı şebeke ağlarına doğru olan mevcut eğilimlerle ilgili bazı temel zorluklar da tartışılmaktadır. Bu çalışma, gelecekteki çalışmalara destek olmayı amaçlayarak araştırmacıları modelleme aşamasında desteklemeyi hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Matematiksel model, Güç kalitesi, Dağıtım sistemi, Dağıtık üretim, İletim Sistemi

I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Fosil yakıt kaynaklarının değiştirilmesi amacıyla yeşil enerji kaynaklarına olan talebin artması, güç sistemlerinde Üretim, İletim ve Dağıtım penetrasyonunun hızla yükselmesine yol açmıştır. Penetrasyonun, sistem genelindeki işleyiş ve performans önemli bir etki yapması muhtemeldir [1]. Bu nedenle, güç sistemlerinde Güç Kalitesi (GK) bozulmaları artan bir şekilde yaygındır.

Bu durum, endüstriyel ortamlarda kullanılan ayarlanabilir hız tahrikleri, güç kaynakları ve fotovoltaik inverterler gibi doğrusal olmayan yüklerin yaygın olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır [2-4]. GK, belirli bir zamanda ve konumda güç sistemindeki gerilim ve akımı karakterize eden çeşitli elektromanyetik olayları ifade etmektedir [5]. Bu GK sorunları arasında ani geçişler, salınımlı geçişler, kesintiler, düşmeler, yükselmeler,



harmonikler, oluklar, titremler ve diğerleri bulunmaktadır [6].

GK sorunları, ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu kayıplar, şebekede bulunan ekipmanın hasar görmesi veya yanlış çalışması yanı sıra son kullanıcı ekipmanının da yanlış çalışmasına yol açabilmektedir [7]. Bu nedenle, GK sorunları doğru bir şekilde tespit edilmez, sınıflandırılmaz ve azaltılmazsa, sistemle bağlantılı birçok hassas yükün arızalanmasına veya yanlış çalışmasına neden olabilir, bu da oldukça maliyetli sonuçlara yol açabilmektedir. Ayrıca, GK bozulmaları iletim şebekelerini de etkileyebilir. Bu, özellikle fotovoltaiik enerji üretimi gibi yenilenebilir kaynakları içeren güç sistemlerinde ciddi bir sorundur, çünkü bu tür sistemler doğrusal olmayan cihazları gerektirmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerjileri şebekeye entegre etmek veya endüstriyel ağlarda bozulma kaynağını tanımlamak ve azaltma önlemleri almak için öncelikle GK bozukluklarının tespit edilmesi ve sınıflandırılması gerekmektedir [8].

GK bozukluklarını tespit etmeye ve sınıflandırmaya odaklanan çalışmalarda, sistemleri test etmek için bozulmuş sinyaller elde etmek ilk adım olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, mevcut çalışmalarda birkaç eğilim gözlemlenmektedir: matematiksel modellerden dalga üretimi [9-11], gerçek dünya sinyallerini içeren veritabanlarının kullanımı [12] ve gerçek dünya bozulmalarının kaydedilmesi için veri toplama sistemlerinin kullanımı olarak tanımlanmaktadır [13].

İlk eğilimle ilgili olarak, mevcut çalışmalarda çeşitli matematiksel modeller önerilmiştir. Ancak elimizdeki bilgilere göre, tüm bozulma türlerini içeren bütüncül bir model bulunmamaktadır. Bu çalışmada, literatürde bulunan modellere dayalı olarak GK bozukluklarının bütüncül matematiksel modeli önerilmektedir.

Dağıtık Üretim (DÜ) etkisinin artık yalnızca bu birimlerin bağlı olduğu yerel yük veya dağıtım ağı ile sınırlı olmadığı, aynı zamanda tüm iletim sistemi üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir [14]. Yüksek DÜ penetrasyonuna odaklanan çalışmalar genellikle sistem kontrolü ve kararlılık üzerinedir. Bu nedenle bazı çalışmalarda, DÜ penetrasyon seviyelerinin güç sistemi geçici kararlılığı üzerinde farklı senaryolar için incelenmiş ve DÜ birimlerinin, yani yakıt hücreleri ve mikro türbinlerin, çeşitli penetrasyon seviyeleri için güç sistemi kararlılığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır [15, 16]. Diğer yandan, bazı çalışmalar DÜ birimlerinin dağıtım ağı üzerindeki etkisine odaklanmıştır [17-19]. Seçilmiş DÜ

birimlerinin, yani rüzgar jeneratörleri ve mikro türbinlerin bulunduğu bir dağıtım ağının kararlılık analizi sunulmuştur [20]. DÜ'lerin matematiksel modelleri üç fazlı yük akış algoritmasına entegre edilmiş ve dağıtım ağlarının özel topolojik özellikleri tam olarak kullanılmaktadır.

GK bozulmalarını üretmek için matematiksel modeller içeren literatürde çeşitli çalışmalar bulunabilir. Genel olarak, bu bozulmalar IEEE önerileri, uluslararası standartlar veya bu alandaki deneyimlere dayalı olarak üretilmektedir. Bu araştırma, elektrik sistemlerinde güç kalitesi sorunlarının kökenlerini ve etkilerini analiz ederek, bu sorunları çözmek veya en aza indirmek için matematiksel modeller geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu modeller, enerji şebekesinin kararlılığını ve güvenilirliğini artırmak, ekipmanlara zarar veren güç kalitesi sorunlarını önlemek veya düzeltmek için kullanılabilir. Bu çalışma aynı zamanda güç kalitesi sorunlarının önemini vurgulamak ve enerji sektöründe iyileştirmeler yapmak için temel bir araştırma ve geliştirme çalışması olarak da görülebilmektedir.

II. ELEKTRİK ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ [ELECTRICAL GENERATION TECHNOLOGIES]

Dağıtılmış enerji kaynakları, elektrik gücü üretimi için kullanılan kaynaklar olup, bu kaynaklar elektrik dağıtım sistemine entegre edilmektedir. Bu kaynaklar genellikle geleneksel ve yenilenebilir enerji olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Geleneksel kaynaklar, yenilenebilir olmayan kaynakları içererek fosil yakıtları kapsamaktadır. Diğer yandan, yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, hidroelektrik gibi çevre dostu ve sürdürülebilir enerji üretim yöntemlerini temsil eder. Ayrıca, enerji depolama teknolojileri de dağıtılmış enerji kaynakları kapsamında yer almaktadır. Bu teknolojiler, enerjiyi depolayabilen ve ihtiyaç duyulduğunda dağıtım sistemine sağlanabilen sistemleri içermektedir. Pil teknolojileri, dönme yataklar ve süperiletken manyetik enerji depolama sistemleri gibi örnekler verilebilmektedir. Bu enerji depolama teknolojileri, elektrik enerjisinin dalgalanmalarını dengelemek, yük taleplerini yönetmek ve enerji verimliliğini artırmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Dolayısıyla, dağıtılmış enerji kaynakları, elektrik üretimi ve dağıtımını için çeşitli kaynakları içeren bir kavram olarak tanımlanmaktadır. Bu kaynaklar, geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarını içermekle birlikte, aynı zamanda enerji depolama teknolojilerini de içerebilmektedir. Bu kaynaklar, enerji güvencesini artırmak, çevresel etkileri azaltmak ve enerji

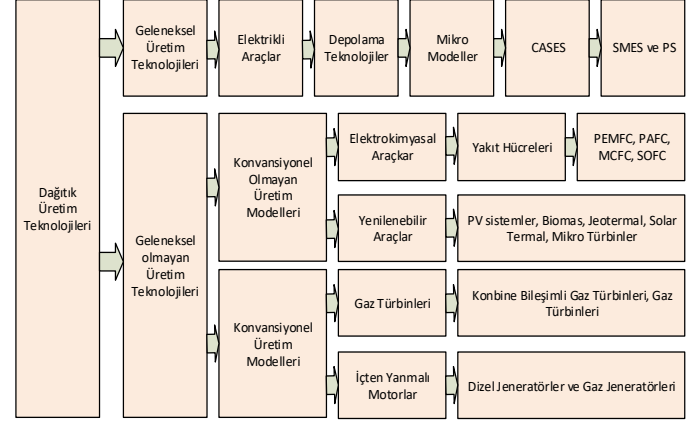
verimliliğini artırmak gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

A. Dağıtık Üretim Modelleri

Geleneksel DÜ'ler, enerji üretimi için düşük hızlı türbinler, alternatif motorlar ve gaz mikro-türbin gibi yanma motorları kullanarak çalışan jeneratörlerdir. Bu kaynaklar genellikle küçük boyutlara sahip olmalarına rağmen coğrafi olarak geniş bir dağılıma sahiptirler. Diğer yandan, Geleneksel Olmayan DÜ'ler, sıfır emisyon üreten ve çevreye dost olan kaynaklardır. Bu kaynakların çoğu genellikle DC (doğru akım) güç üretir, bu nedenle mevcut bir AC (alternatif akım) dağıtım ağına entegre edilmeden önce AC güce dönüştürülmesi gerekmektedir. Fotovoltaik paneller ve yakıt hücreleri gibi kaynaklar, şebeke arayüzü için güç elektroniği dönüştürücülerini (inverterlerini) kullanır. Geleneksel içten yanmalı motorlar (döner makineler) genellikle senkron jeneratörlerdir ve doğrudan şebekeye bağlanmaktadır. Rüzgar türbinleri de döner makineler olarak kabul edilir ve genellikle endüksiyon tipi jeneratörlerdir, bu nedenle doğrudan şebekeye bağlanabilirler. Bazı rüzgar uygulamalarında ve bazı mikro-türbinler gibi içten yanmalı motorlarda, elektronik arayüzle ilişkilendirilen ek maliyet ve karmaşıklığı haklı çıkardığı için güç dönüştürücü/inverter cihazları şebeke arayüzü için kullanılmaktadır. Bu nedenle, farklı DÜ kaynaklarından üretilen enerji, senkron jeneratörler, statik güç dönüştürücüler veya endüksiyon jeneratörleri aracılığıyla şebekeye enjekte edilir. Bu jeneratörlerin veya dönüştürücülerin çalışma şekli, güç akışı çözümünde kullanılacak DÜ modellerini belirlenmektedir.

Dağıtım sistemi seviyesine DÜ ünitelerinin konumlandırılması ve yük merkezine yakın bir konumda bulunması gerektiği yaygın bir bilgi olarak kabul edilmektedir. DÜ ünitesinin güç kayıpları, gerilim profili, kısa devre akımı, harmonik bozulmalar ve güç sistemi güvenilirliği üzerindeki etkileri genellikle dağıtım sistemine entegre edilmeden önce ayrı ayrı test edilir. DÜ ünitelerinden kaynaklanan faydaların elde edilmesi, kuruldukları konuma bağlı olarak ne kadar optimal olduklarına büyük ölçüde bağlıdır. Yapılan çalışmalar, üretilen enerjinin yaklaşık %13'ünün dağıtım seviyesinde kayıp olarak tüketildiğini göstermiştir [35]. Dağıtım sistemindeki başka bir sorun ise yük artışı nedeniyle dağıtım besleyicileri boyunca kabul edilebilir çalışma sınırlarının altına düşen gerilim profili sorunu olarak bilinmektedir. Bu durum, artan elektrik talebinin bir sonucu olarak ortaya çıkar ve dağıtım sistemi altyapısının güncellenmesini gerektirecektir [36]. Bu nedenle, güç kayıplarını azaltmak ve hem gerilim profili hem de toplam harmonik bozulma gerilimini (THDv) azaltmak amacıyla DÜ'nin güç sistemlerine entegre edilmesi için uygun

planlama yapılmalıdır. Bu süreçte dikkate alınması gereken birkaç faktör, kullanılacak teknoloji, ünite sayısı ve kapasitesi, optimal konum ve ağ bağlantı türü gibi unsurlar olarak tanımlanmaktadır [37, 38].



Şekil 1. Dağıtık Üretim Teknolojileri

III. ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE KULLANILAN MATEMATİKSEL MODEL YAKLAŞIMLARI

[MATHEMATICAL MODEL APPROACHES USED IN ELECTRICAL NETWORKS]

Güç sistemine ait matematiksel modeller, Tablo 1'de sunulmuştur. Bu modeller, farklı türde bozulmaları içeren hem benzersiz hem de birleşik bozulmaları içermektedir. Her bir bozulma durumu için, olası değerlerinin Tablo 1'de verildiği bir dizi parametre ile karakterize edilmektedir. Salınımlı geçici bir GK sorunu için bozulmanın başlama ve bitiş zamanı, salınımın genliği ve salınımın azalma eğimi tanımlanmalıdır. Her bir bozulmanın belirli bir örneği Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu integral model, Matlab gibi sayısal hesaplama ortamlarında uygulanmıştır. İlgilenen herhangi bir araştırmacı tarafından indirilebilir durumda olan bu yazılım modeli, GK bozulmalarını otomatik olarak üretmek için bir işlev içermektedir. Araştırmacılar, çeşitli parametreleri yapılandırma seçeneğine sahiptirler.

- Her sınıf için üretilmesi gereken örnek sayısı (Ns). Varsayılan olarak her sınıf için 10 örnek.
- Örnekleme frekansı (fs), 200 Hz ile 30 kHz arasında olmalıdır. Bu parametrenin varsayılan değeri 16 kHz.
- Temel frekans (f), 40 Hz ile 100 Hz arasında olmalıdır. Varsayılan değer 50 Hz'dir.
- Her bozulmada temel frekansta bulunması gereken döngü sayısı (N). Olası değerler 3 ile 100 arasında olmalıdır. Varsayılan olarak her sinyal, 10 döngü içermelidir.
- Sinyallerin normal genliği (A), 0.1 V ile 400 kV arasında olmalıdır. Varsayılan olarak işlev GK bozulmalarının genliğini birim başına (p.u.) üretir.

GK sorunlarının parametreleri yazılım tarafından rastgele üretilir (eşit dağılım), Tablo I'de bulunan olası değerler arasından seçilmektedir. Bu şekilde istenilen sayıda eğitim ve doğrulama veri seti üretilebilmektedir [39].

Tablo I.
Güç Sistemlerinde Bozukluklarının Matematiksel Modeli

Tanım	Eşitlik	Referanslar
Saf Sinyal	$v(t) = A \cdot \sin(\omega t - \varphi)$	[8],[10],[11]
Harmonik	$v(t) = A \cdot [\sin(\omega t - \varphi) + \sum_{n=3}^7 \alpha_n \sin(n\omega t - \varphi)]$	[12],[13],[14]
Kesinti	$v(t) = A(1 - \rho(u(t - t_1) - u(t - t_2))) - \sin(\omega t - \varphi)$	[15],[16],[17]
Sarkma	$v(t) = A(1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))) - \sin(\omega t - \varphi)$	[18],[19],[20]
Fliker	$v(t) = A[1 - \gamma \sin(\omega t - f) \sin(\omega t - \varphi)]$	[21],[22],[23]
Yükselme	$v(t) = A(1 - \beta(u(t - t_1) - u(t - t_2))) - \sin(\omega t - \varphi)$	[24],[25],[26]
Transient	$v(t) = A[\sin(\omega t - \varphi) - \psi(e^{-750(t-t_a)} - e^{344(t-t_a)})(u(t - t_a) - (t - t_b))]$	

A. DÜ Kaynakları ve Dönüşüm Cihazları Modellemesi

Genellikle, bir matematiksel modelleme süreci, sistemin matematiksel bir temsilini içermeli ve bu temsil, gerçek sistem hakkında tüm gerekli davranışı belirli kısıtlamalar içinde yeterince açıklamalıdır. Bir DÜ tipinin etkisini ağı üzerinde değerlendirmek amacıyla yeterince temsil edebilen uygun bir modelin büyük öneme sahip olduğu kabul edilmektedir. Bu model, DÜ'nin ağıdaki etkisini değerlendirmek için kullanımı kolay bir yaklaşımla temsil edilmelidir. Yük akış analizi için DÜ'lerin modellenmesiyle ilgili birçok model bulunmaktadır. Bu modeller, DÜ'leri sabit güç faktörü modeli, sabit gerilim modeli veya değişken reaktif güç çıkışı modeli olarak tanımlamıştır. Bu modellerde, DÜ bağlantılı noktalar, çıkış gücü düşük olanlar GK (Gerilim-Aktif Güç) düğümleri olarak kabul edilirken, yüksek çıkış gücüne sahip olanlar PV (Gerilim-Reaktif Güç) düğümleri olarak kabul edilir. Genel olarak, DÜ sınıflandırması, teknolojiye dayalı sınıflandırma yanı sıra inşaat, boyut ve çıkış gücü

süresi gibi faktörlere dayalı olarak yapılabilmektedir. Modelleme amacıyla DÜ'ler, geleneksel veya geleneksel olmayan olmak üzere dört ana sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflandırmada, DÜ'lerin güç transfer yeteneklerine ve terminal özelliklerine dayalı olarak dört ana grupta toplandığı görülmektedir:

- Yalnızca aktif güç sağlayabilen DÜ'ler, güç dönüştürücüler kullanarak ana ağa entegre edilebilen DÜ türü olarak sınıflandırılır. Bu türün örnekleri arasında yakıt hücreleri, fotovoltaik paneller, mikro türbinler ve rüzgar türbinleri bulunur.
- İkinci sınıf, hem aktif hem de reaktif güç sağlayabilen DÜ ünitelerini içerir. Bu tür DÜ üniteleri, genellikle gaz türbinleri ve kojenerasyon sistemlerinde bulunan senkron makineler temel alınarak tasarlanmıştır.
- Üçüncü sınıf, sadece reaktif güç sağlayabilen DÜ ünitelerini içerir. Bu sınıfa örnek olarak senkron kompanzatorlar verilebilir.
- Bazı DÜ üniteleri, aktif güç sağlayabilirken aynı anda reaktif güç tüketebilirler. Bu türün iyi bilinen örnekleri, endüksiyon jeneratörleri ve çift beslemeli endüksiyon jeneratörü (DFIG) sistemleridir [40]

B. DÜ Sistemlerde Matematiksel Modelleme

DÜ sistemlerinin ağıdaki varlığı, ağa daha fazla aktif güç tedarik edildiği anlamına gelmektedir. Bu DÜ kaynakları, örneğin fotovoltaik paneller, yakıt hücreleri, mikro türbinler ve rüzgar türbinleri gibi kaynaklar, ağa güç elektroniği arayüzleri aracılığıyla entegre edilmektedir, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi. Bu nedenle, yük akışında DÜ ünitelerinin modellenmesi, kullanılan dönüştürücü devresindeki kontrol tekniklerine daima bağlıdır. Dağıtım sistemleri, iletim sistemlerinden farklı özelliklere sahiptir. Bu sistemler genellikle radikal veya zayıf ağlar olup hatlar yüksek R/X oranlarına sahip olabilir ve önemli ölçüde dengesiz olabilmektedir [41]. DÜ'lerden gelen enerji kaynakları, istikrarlı enerji kaynakları (yakıt hücresi, mikro türbin ve içten yanmalı motor gibi) ve istikrarsız kaynaklar (rüzgar ve güneş gibi) olarak kategorilendirilebilir. Bu kaynakların çıkış özellikleri her zaman kullanılan dönüşüm ünitesine bağlıdır. Örneğin, rüzgar enerjisinin dönüştürülmesi için indüksiyon jeneratörü kullanıldığında çıkış sabit bir gerçek güç ve reaktif güç içermektedir. Ancak, statik dönüştürücüler kullanıldığında çıkış, normal işletme koşullarında sabit bir güç faktörüne sahip olacaktır. Kaynakların çıkış özelliklerine dayalı olarak DÜ modelleri önerildiği gibi sabit güç faktörü modeli, sabit gerilim modeli veya değişken reaktif güç modeli olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalara göre:

- Sabit Güç Faktörü Modellerinde belirli bir gerçek

güç ve reaktif güç ile güç faktörü belirtilmiştir. Bu modele uygun olarak temsil edilebilen DÜ'ler arasında senkron jeneratörler ve güç elektroniği tabanlı üniteler yer almaktadır. Bu tür DÜ'lerin reaktif gücü temel alınarak hesaplanabilir.

$$\text{Reaktif Güç} \quad Q(iDÜ) = P_{DÜ} \tan(\cos^{-1} GF_{DÜ}) \quad (1) \quad [42]$$

$$\text{Akım} \quad I(iDÜ) = P_{DÜ}^i(V_{DÜ}) + jP_{DÜ}^i(V_{DÜ}) \quad (2)$$

- Değişken Reaktif Güç Modelinde tipik örnekleri, değişken reaktif güç üretimi olan indüksiyon jeneratörleridir. Gerçek güç çıkışı, rüzgar türbini güç eğrisine dayalı olarak hesaplanan rüzgar hızına bağlıdır, reaktif güç ise gerçek güç çıkışına ve jeneratör empadansına bağlıdır. Parametreler mevcut olsa da, hesaplama genellikle karmaşıktır ve etkili bir şekilde yürütmek zordur. Bu nedenle hesaplama genellikle kararlı duruma dayalıdır ve DÜ'nin gerçek gücü olarak bir işlev olarak temsil edilebilir,

$$\text{Gerçek Güç} \quad Q(iDÜ) = -Q_0 - Q_1 P_{DÜ} - Q_2 P_{DÜ}^2 \quad (3) \quad [43]$$

$$\text{Güç Çıkışı} \quad Q_i^g = Q_i^1 + Q_i^c \quad (4)$$

- Sabit gerilim modeli, büyük ölçekli sistemlerin kontrol edilebilir DÜ'leri için tasarlanmıştır ve bu DÜ modelinin belirtilen parametreleri gerçek güç çıkışı ve hat gerilim büyüklüğüdür. Enjekte edilecek eşdeğer akım, belirtilen değeri korumak için gerekli olan DÜ'nin reaktif güç çıkışını değerlendikten sonra güç akışı analizine entegre edilir. Bu gereken reaktif gücün değerlendirilmesi için geliştirilen iki döngülü algoritma kullanılmaktadır.

$$\text{Reaktif Güç} \quad P_i^{k,m+1} + jQ_i^{k,m+1} = P_i^{k,m+1} + j(Q_i^{k,m} + \Delta jQ_i^{k,m}) \quad (5) \quad [44]$$

C. Gerçek ve reaktif güç kontrolü

İnvertör arayüzlü DÜ sistemlerinin verimli işleyişini sağlama ve şebeke kararlılığını sürdürme açısından kritik bir rol oynamaktadır. DÜ sistemi için bir gerilim kaynağı invertörü (VSI) kullanılmaktadır ki bu, güneş veya rüzgar gibi birçok yenilenebilir enerji kaynağı için yaygın bir konfigürasyondur. Gerçek ve reaktif güç kontrolüne ve integral yaklaşıma ilişkin:

Gerçek Güç Kontrolü:

- Gerçek güç, DÜ sistemi tarafından üretilen veya tüketilen etkin gücü ifade eder ve genellikle watt birimiyle ölçülür.
- VSI tabanlı bir DÜ sisteminde, gerçek güç çıkışı büyük ölçüde çıkış geriliminin büyüklüğü ve faz açısı tarafından belirlenir. Bu nedenle gerçek güç çıkışını düzenlemek için gerilim kontrolü hayati bir öneme sahiptir.
- Genellikle gerçek güç çıkışını düzenlemek için PI (Orantılı-Integral) denetleyici olarak adlandırılan integral bir kontrol yaklaşımı kullanılır. İntegral terim, istenen gerçek gücün sağlanana kadar denetim çıkışını sürekli olarak ayarlayarak sabit durum hatalarını ortadan kaldırmaya yardımcı olur.

Reaktif Güç Kontrolü:

- Reaktif güç, jeneratör ile yük arasında gerçek iş yapmayan gücün dalgalanmasını ifade eder ve genellikle volt-amper reaktif (VAR) birimiyle ölçülür.
- Bir VSI tabanlı DÜ sistemi bağlamında, reaktif güç de çıkış geriliminin büyüklüğü ve faz açısına bağlıdır.
- Reaktif güç kontrolü, gerilim destek, güç faktörü düzeltme ve sistemin gerilim kararlılığını sürdürme açısından önemlidir.
- Gerçek güç kontrolüne benzer şekilde, reaktif güç çıkışını düzenlemek için genellikle bir PI denetleyici kullanılır.

Newton-Raphson Yöntemi'ne dayalı bir parametre tahmini tekniği ve önceden denetim güç akış kontrol tekniği, enerji iletim hattının parametrelerini tahmin etmek ve bu tahminleri kullanarak güç akışını önceden düzenlemek amacıyla kullanılan bir dizi matematiksel ve kontrol tabanlı tekniktir.

Newton-Raphson Yöntemi, non-linear denklem sistemlerini çözmek için kullanılan bir iteratif sayısal bir tekniktir. Bu yöntem, başlangıç tahminlerine dayalı olarak bir çözüme yaklaşan ardışık iterasyonları kullanır. Enerji iletim hattının parametreleri, genellikle karmaşık bir elektriksel sistemde çeşitli direnç, reaktans ve diğer parametreleri içerir. Newton-Raphson Yöntemi, bu parametreleri doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanılır.

Önceden denetim güç akış kontrol tekniği, enerji iletim hattındaki güç akışını önceden belirlenmiş hedeflere göre kontrol etmeye yönelik bir kontrol stratejisidir. Bu teknik,

enerji iletim hattının belirli bir süre boyunca nasıl çalışması gerektiğini önceden belirleyebilir. Bu, enerji akışını düzenleme, şebekeye besleme yapma veya belirli bir güç dengesi sağlama gibi amaçları içerir. Bu iki teknik, enerji iletim hattının güç akışını optimize etmek, stabiliteyi artırmak ve belirlenmiş hedeflere göre kontrol etmek için bir arada kullanılabilir. Newton-Raphson Yöntemi, hattın parametrelerini tahmin etmek için kullanıldığında, bu tahminler önceden denetim güç akış kontrol tekniği tarafından kullanılabilir. Bu entegre yaklaşım, enerji sistemlerinin daha etkili ve güvenilir bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır [45].

Güç kontrol döngüsünün kararlılığı, matematiksel olarak Lyapunov doğrudan yöntemi kullanılarak kanıtlanmıştır. Bu, enerji akışının güvenilir bir şekilde kontrol edildiğini ve dengeye ulaştığını göstermektedir. Makale ayrıca, enerji iletim hattındaki harmonik bozulmalarla başa çıkmak ve hat akımını harmoniksiz hale getirmek için bir harmonik güç kontrol tekniği önermektedir. Bu kontrol yaklaşımı, enerji iletim hattındaki harmoniklerin etkilerini minimize etmek ve güç kalitesini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu modelin üretilen sinyallerinin farklı platformlara aktarılabilir olması ve donanım tabanında uygulanabilir olması, potansiyel uygulama alanlarını genişletmektedir [46].

III. MATERYAL VE METOD [MATERIAL AND METHOD]

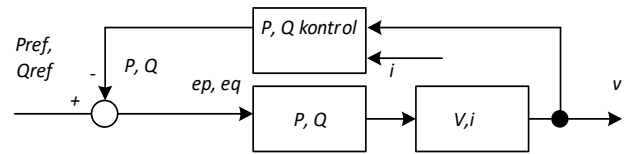
Güç Kalitesi Bozuklukları (GKB) analitik modellerinin geliştirilmesi için yayınlanmış çalışmaların eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışmalar, hem sabit hem de sabit olmayan senaryolar için tek bir bozukluğu veya aynı anda meydana gelen birkaç bozukluğun kombinasyonunu doğru bir şekilde temsil edebilmelidir. Ayrıca, güç sistemlerinde bulunan geniş bir GKB ve olay yelpazesini temsil edebilen birleşik bir matematiksel modelin olması arzu edilir. Bu soyutlama kullanılarak, GK analizi için doğru dijital GKB dalga formlarının sentezlenmesi mümkündür. Bu çalışmada, güç sistemlerinde GKB'nin modellenmesi için yeni bir metodoloji sunulmaktadır. Bu metodoloji, analiz, sınıflandırma ve GKB sentezi için gerekli matematiksel altyapının geliştirilmesini hedeflemektedir. Önerilen metodoloji, mevcut modellerden daha geniş bir bozukluk yelpazesini temsil etmek için birleşik bir matematiksel temele dayanmaktadır. Ayrıca, bu özel yeteneğin geliştirilmesi, modeli beş ana aşamaya bölmek suretiyle mümkün olduğunu göstermektedir. Bu aşamalar, durağan durumla ilişkili bozuklukları modellemek için birinci aşama, temel frekansın frekans ve faz değişikliklerini ve harmoniklerini modellemek için ikinci aşama, ilişkisiz

olayları modellemek için üçüncü aşama, geçici olayları tanımlamak için dördüncü aşama ve Gauss gürültüsü ve renkli gürültü ile birlikte eklemeli gürültü için bir bölüm içermektedir. Önerilen metodolojinin doğrulanması süreci, önerilen matematiksel model ve bu çalışmada geliştirilen metodoloji kullanılarak adım adım bir dalga formunun oluşturulmasıyla gerçekleştirilir. Ayrıca, farklı standart kaydedilmiş dalga formlarıyla doğruluk açısından karşılaştırmalar yapılır. Bu çalışma, geliştirilen modelin bir dalga formu üretici olarak performansını değerlendirmek ve yapılandırılmış matematiksel bir model temelinde eşzamanlı GKB'yi yeniden üretme yönteminin doğruluğunu ve performansını değerlendirmek için kullanılır. Bu metodolojinin potansiyel uygulamaları arasında GK analizinde sinyal işleme algoritmalarının kurulması ve test edilmesi, izleme, sınıflandırma, filtreleme ve hatta senkrofazör algoritmalarının test edilmesi için doğru bir şekilde sentetik dalga formları üretmek yer almaktadır. Önerilen matematiksel aracın, bir GKB türünü temsil etmek için bir matematiksel modeli ayarlamak için uygun olduğu ve gerçek kaydedilmiş örnekleme sinyalinden elde edilen dalga formuyla da uyumlu olduğu gösterilmektedir [47]

Integral yaklaşım, hem gerçek hem de reaktif güçleri düzenlemek için integral kontrolün (PI denetleyici içindeki "I" anlamına gelir) kullanılmasını ifade edilmektedir [46]

$$P = \left(\frac{V_{çıkış} E}{X} \right) \sin \delta \quad (6)$$
$$Q = \left(\frac{V_{çıkış}^2 - V_{çıkış} E \cos \delta}{X} \right) \quad (7) \quad [44]$$

DÜ biriminin çıkış gerilim kontrolü zaten mevcut olduğu için, güç denetleyicisinin görevi, istenen güç değerlerine dayalı olarak gerilim denetleyicisi için gerilim komutu üretmektir. Bu işlem, Şekil 2'de gösterilen istenen ve gerçek değerlere dayalı olarak gerçekleştirilir.



Şekil 2. Şebekeye bağlı mod için kontrol yapısı

İstenen DÜ çıkış gerilimi ve güç açısı, yukarıdaki denklemleri kullanılarak, belirli istenen ve gerçek değerler ile sistem parametrelerine dayalı olarak hesaplanabilir. Böylece güç kontrol sorunu çözülmüş olacaktır. Ancak, pratik sistemlerde mevcut teknikler nedeniyle yukarıdaki yaklaşımın uygulanabilir olmadığı üç temel neden vardır:

- Bu denklemleri çözmek için gerekli olan güç

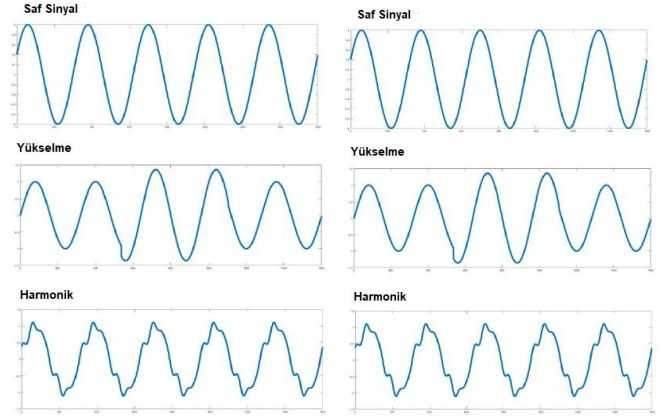
sistemi parametrelerini ve X'i bilmeyi gerektirir ki bu mevcut yaklaşımlara dayalı olarak zor bir iştir. Pratik olarak, X'in değeri güç sisteminin işleyişi nedeniyle değişebilir.

- Hem θ hem de V, paydalarda görüldüğünden ve özellikle θ küçük olduğunda θ varyasyonlarına duyarlıdır. Güç sistemi kapasitesi ile DÜ'nin güç derecesi arasındaki fark ne kadar büyükse, X değeri o kadar küçülür.
- Her iki denklem de gerçek zamanlı olarak çözülmesi zor olan nonlinear denklemlerdir, bu da bu fikrin pratikte uygulanmasını engeller.

Bu nedenle, X bilgisini gerektiren güç kontrol çözümleri pratik olarak kullanılmamış ve insanlar alternatif çözümler aramaya yönelmiştir.

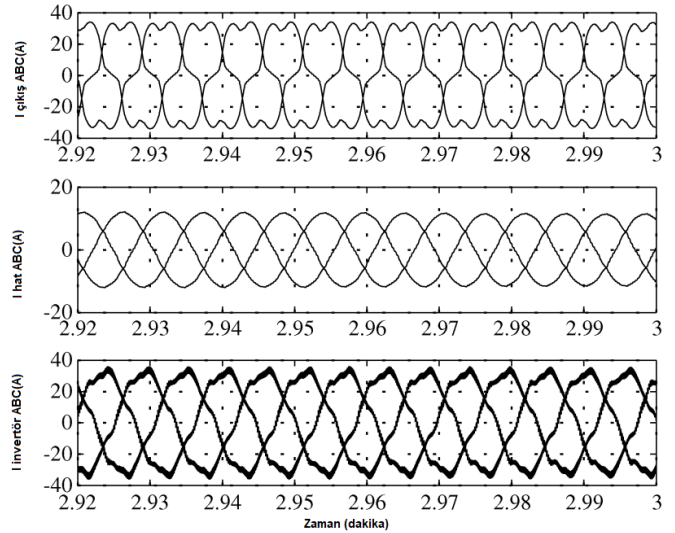
Bu makalede önerilen integral matematiksel model, GK olaylarının otomatik tespiti ve sınıflandırılmasının alanında faydalı olabilir. Bu alandaki araştırmacılar, algılama ve sınıflandırma algoritmalarını test etmek için eğitim ve doğrulama veri setleri oluşturmak için bu modeli kullanabilirler. Bu, önerilerinin uygulanabilirliğini hızla kontrol etmelerine olanak tanır ki bu önemli bir avantajı temsil eder. Özellikle bir araştırmanın erken aşamalarında, elde edilebilecek zaman tasarrufu göz önüne alındığında bu oldukça ilgi çekicidir. Ayrıca, yazılı model farklı parametrelerin ayarlanmasına izin verdiği için, farklı koşullarda (örneğin örnekleme frekansı, yakalanan döngüler, temel genlik vb.) sinyaller kolayca üretilebilir.

Bu tür bozulmalar, sınıflandırma sistemlerini farklı çalışma koşulları altında test etmek için kullanılabilir. Ayrıca, herhangi bir araştırmacı, kodun GNU GPL lisansı altında dağıtıldığı için modelleri kendi ihtiyaçlarına göre uyarlayabilir. Ayrıca, bu modelde düşünülmeyen not temelli bozulmalar gibi başka birleşik bozulmanın kolayca uygulanabilmesi de mümkün olabilir. Dahası, Şekil 3'te farklı gürültü seviyeleri kolayca gösterilmektedir.



Şekil 3. Harmonik Dönüşümleri

Lineer olmayan yerel yükler bulunduğunda, önerilen kontrolün hat akımı üzerinde etkili olmaması beklenir. Şekil 4'te, sistemdeki üç farklı konumda, hat akımı, ünite çıkış akımı ve inverter akımı dahil olmak üzere akım dalga formlarını sergilemektedir. Dalga formları, tüm akım harmoniklerinin DÜ birimi tarafından alındığını ve sistem hattı akımının temiz olduğunu göstermektedir. Bu, gerilim kontrol döngüsünün DÜ çıkışında gerilim harmoniklerini ortadan kaldırarak ve harmonik akımın enerji şebekesine veya şebekeden akmasını önleyerek gerçekleşir [46].



Şekil 4. Doğrusal olmayan yerel yük altında DÜ ünitesi çıkış akımı i, sistem hat akımı i ve invertör akımı i'nin mevcut dalga biçimleri.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Bu makale, enerji iletim hattına bağlı bir yerel yük ile birleştirilmiş tek bir dağıtılmış üretim ünitesi için güç akışını kontrol etme yöntemini sunmaktadır. Önerilen kontrol tekniği, sağlam bir voltaj denetleyici ve bir sürekli akım denetleyici üzerinde çalışan üç fazlı üç hattalı bir inverter yapısına dayanmaktadır. Bu kontrol yaklaşımı,



enerji akışını düzenlemek ve şebekeye besleme yapmak amacıyla kullanılmaktadır.

Enerji iletim hattı parametrelerini elde etmek ve bu bilgiyi güç akışını önceden düzenlemek için kullanmak için, Newton-Raphson Yöntemi'ne dayalı bir parametre tahmini tekniği ve önceden denetim güç akış kontrol tekniği geliştirilmiştir. Bu, enerji iletim hattının karakteristiklerini doğru bir şekilde hesaplamak ve enerji akışını planlama ve düzenleme açısından önemlidir. Ayrıca, güç kontrol döngüsünün kararlılığı, Lyapunov doğrudan yöntem kullanılarak matematiksel olarak kanıtlanmıştır. Bu, enerji akışının güvenilir bir şekilde kontrol edildiğini ve dengeye ulaştığını gösterir. Makale aynı zamanda, enerji iletim hattındaki harmonik bozulmalarla başa çıkmak ve hat akımını harmoniksiz hale getirmek için bir harmonik güç kontrol tekniği önermektedir. Bu, enerji iletim hattındaki harmoniklerin etkilerini minimize etmek ve güç kalitesini artırmak amacıyla kullanılır.

Bu model tarafından üretilen sinyallerin Matlab dışındaki platformlara aktarılabilir olması önemlidir. Başka bir potansiyel uygulama ise integral modelin donanım tabanında uygulanması olabilir, bu sayede belirli bir yaklaşımın gerçek dünya performansını test etmek mümkün hale gelir. Bu, şu anda canlı bir araştırma hattı olan bir uygulamadır. Ayrıca, mevcut ekipman veya donanım uygulamalarının doğruluğunu test etmek için kullanılabilir. Özetle, bu makale, literatürde bulunan Gerilim-Kontrollü (GK) bozulmalarının farklı tiplerini içeren bir integral matematiksel model sunmaktadır. Bildiğimiz kadarıyla, bu modelin yazılı temsili, herhangi bir ilgili araştırmacı tarafından indirilebilecek ve değiştirilebilecek şekilde serbestçe sunulan ilk modeldir. Bu, GK olaylarının otomatik tespiti ve sınıflandırıcılarının hızlı bir şekilde geliştirilmesi için son derece faydalı olabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın hem simülasyonlarla hem de gerçek dünya deneyleriyle desteklenmiş sonuçları, önerilen kontrol yaklaşımının enerji akışı düzenleme ve hat akımı düzenleme konularında etkili olduğunu göstermektedir. Bu tür bir kontrol yaklaşımı, dağıtılmış enerji üretimi ve enerji iletim sistemleri için daha verimli ve güvenilir çalışma imkanı sunmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazarlar arasında ve ilgili kurumları arasında herhangi çıkar çatışması olmadığını bildirmişlerdir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK [COMPLIANCE WITH ETHICAL RULES]

Yazarlar bu makalenin etik kurul onayı veya herhangi bir özel izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] A. Narang, "Impact of large scale distributed generation penetration on power system stability," *Natural Resources Canada, CETC*, March 9, 2006.
- [2] N. Patel, K. Gandhi, D. Mahida, P. Chudasama, "A review on power quality issues and standards", *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 4, pp. 247-250, 2017.
- [3] M.I. Muhamad, N. Mariun, M.A.M Radzi, "The effects of power quality to the industries", in *Proc. 5th Student Conf. Research and Development*, pp. 1-4, 2007.
- [4] R. Igual et al., "Herramienta libre para el aprendizaje del efecto de los armónicos en los sistemas de potencia", in *Proc. XXIV Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación*, Valencia, pp. 43, 2017.
- [5] IEEE. (2009). Recommended practice for monitoring electric power quality. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5154067/>
- [6] Cenelec. (2011) EN 50160. Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.
- [7] O.P. Mahela, A.G. Shaik, N. Gupta, "A critical review of detection and classification of power quality events", *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 41, pp. 495-505, 2015.
- [8] S.A. Deokar, L.M. Waghmare, "Integrated DWT-FFT approach for detection and classification of power quality disturbances", *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 61, pp. 594-605, 2014.
- [9] Hossain, E., Tür, M. R., Padmanaban, S., Ay, S., & Khan, I. (2018). Analysis and mitigation of power quality issues in distributed generation systems using custom power devices. *Ieee Access*, 6, 16816-16833.
- [10] S. Naderian, A. Salemnia, "An implementation of type-2 fuzzy kernel based support vector machine algorithm for power quality events classification", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 27(5), 2016.
- [11] A.E. Lazzaretti, V.H., Ferreira, H. Vieira, "New trends in power quality event analysis: novelty detection and unsupervised classification", *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, vol. 27(6), pp. 718-727, 2016.
- [12] H. Eristi, Ö. Yıldırım, B. Eristi, Y. Demir, "Optimal feature selection for classification of the power quality events using wavelet transform and least squares support vector machines", *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 49, pp. 95-103, 2013.
- [13] Tür, M. R., Mohammed, W., SHOBOLE, A. A., & Gündüz, H. (2021). Integration problems of photovoltaic systems-wind power, solutions and effects on power



- quality. *European Journal of Technique (EJT)*, 10(2), 340-353.
- [14] [4] J.G. Slootweg, S. de Haan, H. Polinder, W. Kling, Modeling new generation and storage technologies in power system dynamics simulations, in: *Proceedings IEEE Summer Meeting*, Chicago, July 2002.
- [15] A. M. Azmy and I. Erlich, "Impact of distributed generation on the stability of electrical power system," in *Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting*, vol. 2, pp. 1056–1063, June 2005.
- [16] Syafii, K.M. Nor, M. Abdel-Akher, "Analysis of three phase distribution networks with distributed generation" *IEEE 2nd International on Power and Energy Conference (PEC)*, pp.1563 – 1568, 2008.
- [17] Liu Qingzhen, Cai Jinding, "A Integrated Power Flow Algorithm for Radial Distribution System with DGs Based on Voltage Regulating" *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)* pp.1-4, 2010
- [18] M.Z. Kamh, R. Iravani, "A Unified Three-Phase Power-Flow Analysis Model For Electronically Coupled Distributed Energy Resources" , *IEEE Trans. on Power Delivery* vol. 26, no. 2 , pp. 899 – 909, 2011
- [19] S. Elsaiah, M. Benidris, J.Mitra, "Power flow analysis of distribution systems with embedded induction generators" *North American Power Symposium (NAPS)*, pp.1 – 6, 2012
- [20] S. Khushalani, N. Schulz, "Unbalanced Distribution Power Flow with Distributed Generation" *IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005/2006* PP. 301 – 306, 2006
- [21] S.A. Deokar, L.M. Waghmare, "Integrated DWT–FFT approach for detection and classification of power quality disturbances", *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 61, pp. 594–605, 2014.
- [22] J.G.M.S. Decanini, M.S. Tonelli-Neto, F.C.V. Malange, C.R. Minussi, "Detection and classification of voltage disturbances using a fuzzy- ARTMAP-wavelet network", *Electric Power Systems Research*, vol. 81, pp. 2057–2065, Dec. 2011.
- [23] K. Manimala, K. Selvi, R. Ahila, "Optimization techniques for improving power quality data mining using wavelet packet based support vector machine", *Neurocomputing*, vol. 77, pp. 36–47, 2012.
- [24] S. Naderian, A. Salemnia, "An implementation of type-2 fuzzy kernel based support vector machine algorithm for power quality events classification", *International Transactions on Electrical Energy Sys.*, vol. 27(5), 2016.
- [25] J. Li, Z. Teng, Q. Tang, J. Song, "Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using Double Resolution S-Transform and DAGSVMs", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 65(10), October 2016.
- [26] N. Huang, D. Xu, X. Liu, L. Lin, "Power quality disturbances classification based on S-transform and probabilistic neural network", *Neurocomputing*, vol. 98, pp. 12–23, 2012.
- [27] Z. Moravej, M. Pazoki, A.A. Abdoos, "Wavelet transform and multiclass relevance vector machines based recognition and classification of power quality disturbances", *Euro. Trans. Electr. Power*, vol. 21, pp. 212–222, 2011.
- [28] S. Khokhar, A.A.M. Zin, A.S. Mokhtar, N. Ismail, "MATLAB/Simulink based modeling and simulation of power quality disturbances," in *Proc. IEEE Conf. on Energy Conversion (CENCON)*, Johor Bahru, pp. 445-450, 2014.
- [29] Tur, M. R., & Bayindir, R. (2020, July). "Comparison of Power Quality Distortion Types and Methods Used in Classification". In *2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)* (pp. 1-7). IEEE.
- [30] A. Milchevski, D. Kostadinov, D. Taskovski, "Classification of power quality disturbances using wavelets and support vector machine", *Elektronika ir Elektrotehnika*, vol. 19(2), pp.25-30, 2013.
- [31] M. Lopez-Ramirez, L. Ledesma-Carrillo, E. Cabal-Yepez, C. Rodriguez-Donate, H. Miranda-Vidales, A. Garcia-Perez, "EMDbased feature extraction for power quality disturbance classification using moments", *Energies*, vol. 9(7), 565, 2016.
- [32] X.S. Liu, B. Liu, D.G. Xu, "Recognition and Classification of Power Quality Disturbances on the basis of Pattern Linguistic Values", *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 11(2), pp. 309-319, 2016.
- [33] C.Y. Lee, Y.X. Shen, "Optimal Feature Selection for Power-Quality Disturbances Classification", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 26(4), October 2011.
- [34] R. Kumar, B. Singh, D.T. Shahani, "Symmetrical components-based modified technique for power-quality disturbances detection and classification", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 52(4), pp. 3443 – 3450, July/August 2016.
- [35] O. Amanifar, M.E. Hamedani Golshan, "Optimal distributed generation placement and sizing for loss and THD reduction and voltage profile improvement in distribution system using particle swarm optimization and sensitivity analysis", *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, Vol. 3, pp. 47{53, 2011.
- [36] A. Ejajal, M.E. El-Hawary, "Optimal capacitor placement and sizing in unbalanced distribution system with harmonic consideration using particle swarm optimization", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 25, pp. 1734{1741, 2010.
- [37] V. Miranda, "Wind power, distributed generation: new challengers, new solutions", *Turkish Journal of Electrical Engineering*, Vol. 14, pp. 455{473, 2006.
- [38] Tur, M. R., & Yaprakdal, F. (2020). "Investigation of power quality in a system based on renewable energy sources." *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji*, 8(3), 572-587.
- [39] R. Igual, C. Medrano, F. J. Arcega and G. Mantescu, "Integral mathematical model of power quality disturbances," 2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Ljubljana, Slovenia, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICHQP.2018.8378902



- [40] Talha B.D, Mubashir S.M.K, Muhammad A, “Distributed energy systems: A review of classification, technologies, applications, and policies” *Energy Strategy Reviews*, Volume 48, 2023,101096, ISSN 2211-467X
- [41] Y. Zhu, K. Tomsovic, “Adaptive power flow method for distribution systems with dispersed generation”, *IEEE Trans. Power Deliv.* 17 (3) (2002) 822–827.
- [42] Chen Th, Chen Ms, Inoue T. ‘Three-phase cogenerator and transformer models for distribution system analysis’, *IEEE Trans. Power Deliv.*, 1991, 6, (4), pp. 1671–1681
- [43] Feijoo Ae, Cidras J ‘Modeling of wind farms in the load flow analysis’, *IEEE Trans. Power Syst.*, 2000, 15, (1), pp. 110–115
- [44] Teng Jh: ‘A direct approach for distribution system load flow solutions’, *IEEE Trans. Power Deliv.*, 2003, 18, (3), pp. 882–887
- [45] Şener, B. (2017). Çift gözlü kapların parçalı bastırıcı ile derin çekilmesinde en iyileme amaçlı bir algoritma geliştirilmesi (Doctoral dissertation).
- [46] Marco A. Et. Al. (2017), A novel methodology for modeling waveforms for power quality disturbance analysis, *Electric Power Systems Research*, Volume 143, 2017, 14-24, ISSN 0378-7796,
- [47] Kitiş, U. (2020). Değişken yol şartlarında elektrikli araçların anlık moment ihtiyaçlarının Lyapunov tipi bir gözlemleyici ile tespiti ve kontrolü.
- [48] M. Dai, M. N. Marwali, J. . -W. Jung and A. Keyhani, "Power flow control of a single distributed generation unit with nonlinear local load," *IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, 2004., New York, NY, USA, 2004, pp. 398-403 vol.1, doi: 10.1109/PSCE.2004.139764



JSTER

JOURNAL OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND ENGINEERING RESEARCH

Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi

ISSN: 2717-8404

Al-Farabi (Alpharabius)



Russia 1975 SC# 4360 Nasr al-Farabi Arab Philosopher Individual Stamp

Ebu Nasr Muhammed Al-Farabi,

Batı'da bilinen ismiyle **Alpharabius** (872 – 950):

Siyaset felsefesi, metafizik, etik ve mantık alanlarında yazan ünlü bir erken İslam filozofu ve hukukçuydu. Aynı zamanda bir bilim adamı, kozmolog, matematikçi ve müzik teorisyeniydi.

İslam felsefe geleneğinde, "İlk Öğretmen" olarak bilinen Aristoteles'in ardından genellikle "İkinci Öğretmen" olarak anılırdı. Orta Çağ boyunca orijinal Yunanca metinleri, yorumları ve incelemeleri aracılığıyla korumakla ve İbni Sina (Avicenna) ve Sefarad Yahudisi filozof İbn Meymun gibi birçok önde gelen filozofu etkilemekle tanınır.

El-Farabi aynı zamanda Aristotelesçi olmayan bir mantık geliştiren ilk Müslüman mantıkçıydı. Gelecekteki olumsal konuları, kategorilerin sayısı ve ilişkisini, mantık ve dilbilgisi arasındaki ilişkiyi ve Aristotelesçi olmayan çıkarım biçimlerini tartıştı. Ayrıca mantığı, birincisi "fikir" ve ikincisi "kanıt" olmak üzere iki ayrı gruba ayırmasıyla tanınır.

Abu Nasr Muhammad Al-Farabi , known in the West as Alpharabius (872 – 950) :

He was a renowned early Islamic philosopher and jurist who wrote in the fields of political philosophy, metaphysics, ethics and logic. He was also a scientist, cosmologist, mathematician and music theorist.

In Islamic philosophical tradition he was often called "the Second Teacher", following Aristotle who was known as "the First Teacher". He is credited with preserving the original Greek texts during the Middle Ages via his commentaries and treatises, and influencing many prominent philosophers, such as Avicenna and Sephardic Jewish philosopher Maimonides.

Al-Farabi was also the first Muslim logician to develop a non-Aristotelian logic. He discussed the topics of future contingents, the number and relation of the categories, the relation between logic and grammar, and non-Aristotelian forms of inference. He is also credited for categorizing logic into two separate groups, the first being "idea" and the second being "proof."

<https://www.thesciencefaith.com/al-farabi-alpharabius-the-second-teacher-master/>



<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jster>

e-mail : jster.editor@gmail.com