



JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGIES

BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

Volume / Cilt **16** Number / Sayı **3** Year / Yıl **2023** Month / Ay **July / Temmuz**





GAZİ ÜNİVERSİTESİ (GAZİ UNIVERSITY)
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ (INSTITUTE OF INFORMATICS)



BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

(JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGIES)

ISSN: 1307-9697 e-ISSN: 2147-0715

Cilt (Volume): 16

Sayı (Issue): 3

Temmuz (July) 2023

Sahibi (Owner)
Dr. Musa YILDIZ
Rektör (Rector)

Genel Yayın Yönetmeni & Baş Editör
(General Publication Director & Editor in Chief)

Dr. Aslıhan TÜFEKÇİ
Bilişim Enstitüsü Müdürü
Director of Institute of Informatics

Yardımcı Editör
(Associate Editor)

Dr. Murat YILMAZ
Bilişim Enstitüsü Müdür Yardımcısı
Vice Director of Institute of Informatics

Yardımcı Editör
(Associate Editor)

Dr. Öner BARUT
Bilişim Enstitüsü Müdür Yardımcısı
Vice Director of Institute of Informatics

Editörler (Editors)

❖ Dr. Ahmet KARAARSLAN	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi (Ankara Yıldırım Beyazıt University)
❖ Dr. Hüseyin POLAT	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Resul DAŞ	Fırat Üniversitesi (Fırat University)
❖ Dr. Mahir DURSUN	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Mehmet ŞİMŞEK	Milli Savunma Üniversitesi (National Defence University)
❖ Dr. M. Hanefi CALP	Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi (Ankara Hacı Bayram Veli University)
❖ Dr. Mehmet Sıraç ÖZERDEM	Dicle Üniversitesi (Dicle University)
❖ Dr. Oktay YILDIZ	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Olgun DEĞİRMENÇİ	TOBB ETÜ (TOBB Economics and Technology University)
❖ Dr. Recep BENZER	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Serdar KULA	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Ö. Tolga PUSATLI	Çankaya Üniversitesi (Çankaya University)
❖ Dr. Cihangir TEZCAN	Orta Doğu Teknik Üniversitesi (Middle East Technical University)
❖ Dr. Uraz YAVANOĞLU	Gazi Üniversitesi (Gazi University)

Yayın Danışma Kurulu (Editorial Advisory Board)

Dr. Ahmet COŞAR Turkish Aeronautical Association University, Turkey	Dr. Aslanbek NAZİEV Ryazan State University, Russia	Dr. Bogdan PATRUT Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania
--	---	--

Dr. Deepak GUPTA <i>Maharaja Agrasen Institute of Technology, India</i>	Dr. Jafar A. ALZUBİ <i>Al-Balqa Applied University, Jordan</i>	Dr. Jolanta SABAITYTĖ <i>Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania</i>
Dr. Ilya LEVİN <i>Tel Aviv University, Israel</i>	Dr. Pınar KARAGÖZ <i>Middle East Technical University, Turkey</i>	Dr. Ufuk ÇAĞLAYAN <i>Yaşar University, Turkey</i>
Dr. Veysi İŞLER <i>Hasan Kalyoncu University, Turkey</i>	Dr. Victor Hugo Costa DE ALBUQUERQUE <i>Universidade de Fortaleza, Brazil</i>	Dr. Vijender Kumar SOLANKİ <i>CMR Institute of Technology, India</i>
Dr. Ebrahim KHOSRAVI <i>Clayton State University, United States</i>		



Dil Editörü <i>(Language Editor)</i> Dr. Çağla Gizem AKKAŞ <i>Bilişim Enstitüsü Institute of Informatics</i>
Teknik Sorumlu <i>(Technical Assistant)</i> Candan TÜMER <i>Bilişim Enstitüsü Institute of Informatics</i>
Teknik Sorumlu <i>(Technical Assistant)</i> Tuana İRKEY <i>Bilişim Enstitüsü Institute of Informatics</i>
Teknik Sorumlu <i>(Technical Assistant)</i> Yasemin İÇTÜZER <i>Bilişim Enstitüsü Institute of Informatics</i>

Sekreterlik <i>(Secretary)</i> Bilişim Teknolojileri Dergisi <i>Bilişim Enstitüsü Institute of Informatics</i>

<p>Bilişim Teknolojileri Dergisi uluslararası hakemli bir dergidir. Journal of Information Technologies is an international refereed journal.</p> <p>Yazışma Adresi (Contact Address) Tunus Cad. No: 35 Kavaklıdere Çankaya/ANKARA Telefon / Telephone: 0312 202 38 01 Faks / Fax: 0312 212 79 29</p> <p>Çevrimiçi Değerlendirme Sistemi (Online Evaluation System) http://dergipark.gov.tr/gazibtd E-posta (e-mail): btd@gazi.edu.tr</p> <p>Bilişim Teknolojileri Dergisi 3 ayda bir (Ocak, Nisan, Temmuz, Ekim) yayınlanmaktadır. Journal of Information Technologies is published every 3 months (January, April, July, October).</p>

Performance Analysis of EfficientNet Based Segmentation Models for Automatic Detection of Malaria Disease

Araştırma Makalesi/Research Article

 Murat Uçar^{1*},  Emine Uçar²

¹Department of Computer Engineering, İzmir Bakırçay University, İzmir, Turkey

² Department of Management Information Systems, İzmir Bakırçay University, İzmir, Turkey

murat.ucar@bakircay.edu.tr, emine.ucar@bakircay.edu.tr

(Geliş/Received:13.03.2023; Kabul/Accepted:22.05.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1264480

Abstract— Malaria is a disease caused by the Plasmodium parasite, which is common in the tropics. The traditional methods commonly used to diagnose malaria, one of the world's deadliest diseases, are microscopic diagnostic methods in which blood samples taken from suspected individuals are manually examined, or rapid diagnostic tests that are sensitive to human errors. These processes are inexpensive but experienced and qualified clinicians are needed. Due to this shortcoming, modern diagnostic tools are crucial in the struggle against the disease. In this study, an approach based on deep learning (DL) methods was used, which offers beneficial solutions in the diagnosis of disease from medical images. In the proposed approach, U-Net, Pyramid Scene Parsing Network (PSPNet), LinkNet, and Feature Pyramid Network (FPN) segmentation methods were modified with 8 different pre-trained variants of the EfficientNet deep learning model to obtain improved models. In the malaria segmentation performed with these models, the highest Dice score of 91.50% was achieved in the use of the U-Net model with EfficientNetB6. This model offers a faster and more robust solution to detecting parasites compared to traditional methods. Moreover, it can serve as an effective expert system for assisting field experts since it can achieve high Dice scores in identifying parasites on the images.

Keywords— malaria detection, deep learning, segmentation, efficientNet

Sıtma Hastalığının Otomatik Tespiti için EfficientNet Tabanlı Segmentasyon Modellerinin Performans Analizi

Özet— Sıtma, tropik bölgelerde yaygın olan Plasmodium parazitinin neden olduğu bir hastalıktır. Dünyanın en ölümcül hastalıklarından biri olan sıtmanın teşhisinde yaygın olarak kullanılan geleneksel yöntemler, şüpheli kişilerden alınan kan örneklerinin manuel olarak incelendiği mikroskopik teşhis yöntemleri veya insan hatalarına duyarlı hızlı teşhis testleridir. Bu işlemler ucuzdur, ancak deneyimli ve nitelikli klinisyenlere ihtiyaç vardır. Bu eksiklik nedeniyle, modern teşhis araçları hastalıkla mücadelede çok önemlidir. Bu çalışmada tıbbi görüntülerden hastalık teşhisinde faydalı çözümler sunan derin öğrenme yöntemlerine dayalı bir yaklaşım kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımda, U-Net, Pyramid Scene Parsing Network (PSPNet), LinkNet ve Feature Pyramid Network (FPN) segmentasyon yöntemleri, EfficientNet derin öğrenme modelinin 8 farklı önceden eğitilmiş varyantı ile modifiye edilerek gelişmiş modeller elde edilmiştir. Bu modeller ile yapılan sıtma segmentasyonunda %91,50 ile en yüksek Dice skoru EfficientNetB6 ile U-Net modelinin kullanımında elde edilmiştir. Bu model, geleneksel yöntemlere kıyasla parazitleri tespit etmek için daha hızlı ve daha sağlam bir çözüm sunar. Ayrıca, görüntüler üzerinden parazitleri tespit etmede yüksek Dice skorları elde edebildiğinden, alan uzmanlarını desteklemek için etkili bir uzman sistem olarak hizmet edebilir.

Anahtar Kelimeler— sıtma tespiti, derin öğrenme, segmentasyon, efficientNet

1. INTRODUCTION

Malaria is a very common contagious disease, especially in Asia and Africa and it can result in death if left untreated. According to the report published by the World Health Organization (WHO) in 2021, there were 241 million malaria cases with approximately 627000 deaths worldwide in 2020 [1]. Some clinical methods such as thick-thin blood smear examinations, polymerase chain reaction (PCR), and rapid diagnostic tests (RDT) are used for the diagnosis of malaria [2, 3]. However, these manual methods require expertise and take a lot of time. For instance, the results of blood tests used to diagnose malaria are usually available within 24 hours, depending on the laboratory's intensity. RDT, which is used for rapid malaria diagnosis, shows results within 15-20 minutes. The Giemsa staining test, which is performed by examining the blood smear under the microscope, gives results in a longer time. This test diagnoses malaria parasites by imaging them directly on blood cells, and results are usually available within 24 hours. Furthermore, it is important to note that the cost of these tests should not be overlooked or underestimated [4–6]. Moreover, this process could potentially result in the misdiagnosis of patients due to the high workload of medical personnel [7]. For this reason, using computer-aided diagnosis and detection processes that can rapidly analyse large amounts of data and provide results instead of relying on manual processes can yield accurate results while also being cost-effective.

In recent years, scientists have been concentrating on identifying malaria using artificial intelligence techniques, which have a crucial role in medical diagnosis and treatment procedures [8]. Liang et al. proposed a 16-layer convolutional neural network (CNN) for malaria detection and they used single-cell images. They stated that the proposed model obtained 97.37% accuracy as a result of the 10-fold cross-validation technique [9]. Rajaraman et al. proposed a customized CNN model for the detection of Malaria-infected cells. Then, the performance of the model, which achieved 94% accuracy, was compared with pre-trained deep learning (DL) models such as AlexNet, VGG-16, Xception, ResNet-50, and DenseNet-121 [10]. In another study, Bibin et al. achieved 96.20% accuracy with their model based on deep belief networks [11]. Sriporn et al. used AlexNet, VGG-16, NasNetMobile, ResNet-50, Inception-V3, and Xception DL models to detect malaria. In the study, they evaluated the performance of different activation functions and optimizer combinations of the models and they reported that they reached an overall accuracy level of 98.86% [12]. Umer et al. utilized stacked CNN architecture in their study where they performed 5-fold cross-validation on images for malaria detection. They reported that the model performed quite well compared to the state-of-the-art models with 99.98% accuracy [13]. Abubakar, Ajuji, and Yahya first performed feature extraction through six different DL models and then detected malaria using Decision Tree (DT), Support Vector Machine (SVM), Naive Bayes (NB), and K-Nearest Neighbor (KNN) classifiers. In the study, the SVM classifier showed the best performance with an accuracy

value of over 94% [14]. Rahman et al. evaluated the effect of conditional image synthesis on malaria detection by comparing the performance of several state-of-the-art DL models on a fairly large image dataset [15]. Islam et al. proposed an attention-based transformer model for diagnosing the malaria parasite. In order to obtain optimum results, hyperparameters were fine-tuned and as a result of the tests performed on the original and modified dataset, an accuracy value of over 99% was obtained [16].

Some researchers have tried to detect malaria parasites through segmentation methods based on image processing [17–19]. On the other hand, deep learning techniques also achieve useful results in image segmentation. For the segmentation of the malaria parasite, Hung et al. fine-tuned the pre-trained Faster Region-based Convolutional Neural Network (Faster R-CNN) method on ImageNet and reported that the method performed well [20]. In another study, Davidson et al. used a model based on the Faster R-CNN method, providing high performance [21]. Loh et al. utilized the Mask R-CNN DL method for malaria segmentation and counting in images. According to the conducted tests, the utilized approach provided reports 15 times more quickly than manual counting [22]. Yang et al. used a modified U-Net model for malaria diagnosis and tested this new model on six different malaria image datasets [23].

Although there has been previous research in the literature demonstrating the automatic diagnosis of malaria parasites, it has been recognized that there seems to be still a need for breakthroughs in deep learning-based image segmentation approaches. Therefore, this study presents new and more powerful segmentation architectures for malaria segmentation, in which eight different pre-trained variants of the EfficientNet deep learning model are used as backbones. The main contributions of this paper lie in the following.

- The performance of four different state-of-the-art segmentation architectures was evaluated.
- The performances of the segmentation architectures were tested on a relatively large dataset compared to previous studies.
- For the first time, EfficientNet deep learning model was used as the backbone of segmentation architectures for the detection of malaria disease.
- The U-Net segmentation model with EfficientNetB6 achieved promising Dice score results in the detection of parasites.

The remainder of the article is organized as follows. In Section 2, the data set used in the study and the models used in the proposed approach is presented in detail. In Section 3, implementation details and evaluation metrics are described. In Section 4, the results and discussion obtained by the experimental tests are presented. Finally, the article is concluded in Section 5.

2. METHODOLOGY

2.1. Data Description

Images collected from different sources and presented on a public platform by Abbas and Dijkstra [17] were used in the study [24]. This dataset contains 883 Giemsa stained

RGB images and 883 binary ground truth images with 1382×1030 pixels. In Giemsa stained images, malaria parasites are seen as dark purple and red blood cells as light pink. Figure 1 displays some instances from the dataset.

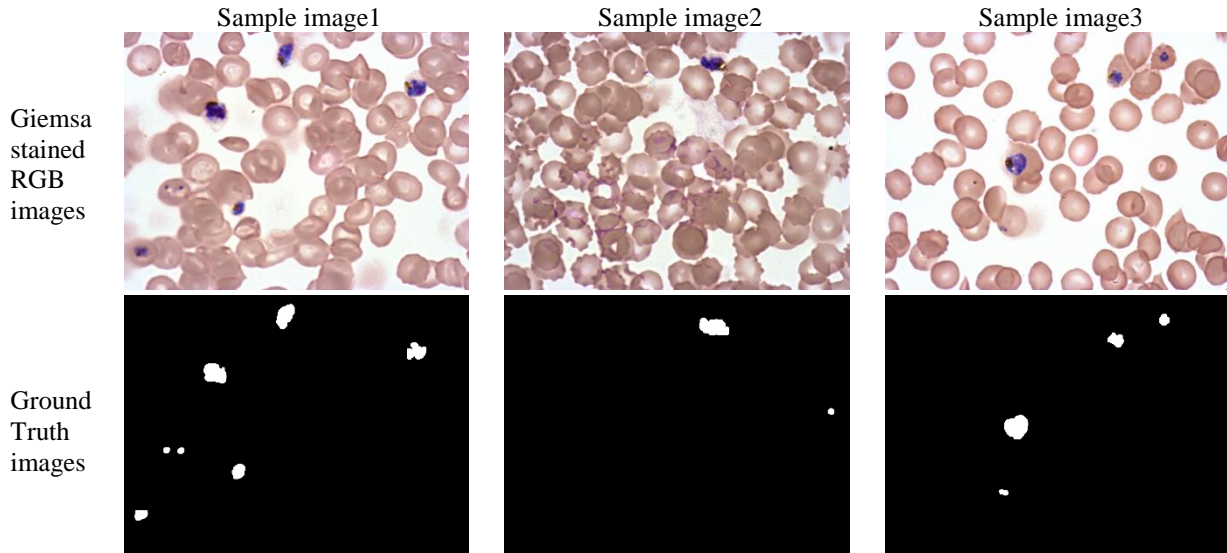


Figure 1. Samples of Giemsa stained RGB images and ground truth images

2.2. Proposed Method

In this study, rapid and efficient detection of malaria parasites was aimed using Giemsa-stained RGB images. For this purpose, an approach was proposed based on U-Net [25], Pyramid Scene Parsing Network [26, 27], LinkNet [28], and Feature Pyramid Network [29] segmentation methods, which are widely used in the literature. In the study, these models were selected based on their exceptional qualities in performing segmentation tasks. While the U-Net model was preferred due to its high sensitivity and ability to produce detailed segmentation results, PSPNet was preferred due to its ability to obtain more precise segmentation results using multi-scale feature maps [25–27]. LinkNet is chosen for its ability to deliver high performance with low computational cost, thanks to

its speed and lightweight nature. On the other hand, FPN was preferred due to its efficiency in pixel-level classification tasks and the utilization of features across various scales [28, 29]. In the proposed approach, eight different variants of the EfficientNet model were used one by one as the backbone of each segmentation method. Thus, by utilizing the expertise of a previously trained network with a lot of visual input, the training process was sped up and time was saved. Moreover, thanks to the composite scaling feature, which involves proportionately scaling the depth, width, and resolution dimensions of the model, these 3 dimensions were balanced, and more efficient performance was achieved. On the other hand, this feature effectively reduced the size of the model, enabling faster execution and higher overall performance [30]. The schematic diagram of the proposed approach in the study was illustrated in Figure 2.

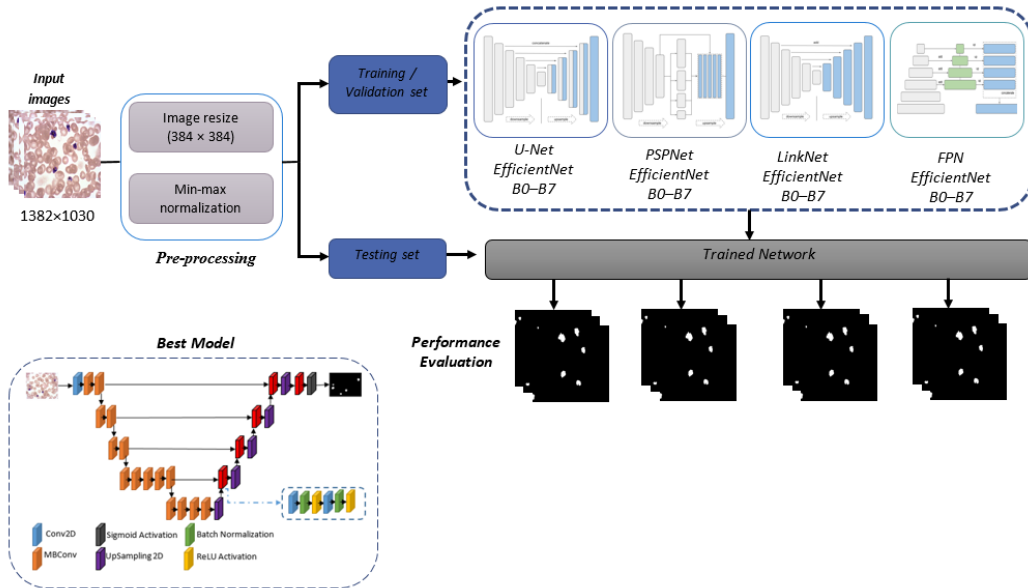


Figure 2. Schematic diagram of the proposed approach

2.2.1. U-Net

The U-Net architecture proposed by Ronneberger et al. in 2015 has reached fairly successful results in terms of image segmentation. U-net is a symmetrical model with one contracting path (encoder) and one expansion path (decoder) parts. It is a traditional convolutional network whose encoder part consists of a 3x3 convolution operation repeated twice. The ReLU activation function and a 2x2 max-pooling layer come after this convolution. The purpose of the encoder is to extract the feature map of the input image and pass it to the decoder. The decoder, on the other hand, aims to increase the decreasing size of the encoder. For this purpose, 2x2 upward convolution is applied on the expansion path and the number of filters is halved. Afterward, the clipped feature map from the encoder part is copied, the output obtained in the decoder is combined, and convolution is applied [25].

2.2.2. Pyramid Scene Parsing Network (PSPNet)

The main architecture of PSPNet [26], proposed by Zhao et al. in 2017, is based on the Fully Convolutional Network (FCN) architecture proposed by Long et al. in 2015 [27]. While FCN can successfully label each pixel, it is not able to accurately identify the relationship between pixels. Developed to overcome this challenge, PSPNet first extracts the feature map from the input image using ResNet and sends it to the pyramid pooling layer to perform the segmentation. This layer then convolves the feature maps into different sizes and creates a final feature map. Lastly, it creates the segmentation map using the final convolutions [26].

2.2.3. LinkNet

The LinkNet segmentation architecture, proposed by Chaurasia and Culurciello in 2017, is designed as a DL

network that can learn without causing a significant increase in parameters. The same as other segmentation networks, it consists of an encoder on the left and a decoder on the right. While the encoder encodes the information in the resource space, the decoder maps this data into spatial categorization to carry out the segmentation [28].

2.2.4. Feature Pyramid Network (FPN)

Feature Pyramid Network, proposed by Lin et al. in 2017, has an architecture consisting of bottom-up, top-down pathways, and lateral connections [29]. In this model, a feature pyramid with strong semantics is created by utilizing the pyramid shape of the convolutional feature hierarchy. The top-down pathway and lateral link combine low-resolution and semantically powerful features with high-resolution and semantically weak features.

2.3. Training Loss Function

The suggested model learns parameters from images by minimizing the loss function. The data were unbalanced, as red blood cells uninfected with the malaria parasite took up more space in the images used in the study. Due to this situation, a loss function was chosen that combined the Focal Loss and Dice loss functions, which are frequently applied to unbalanced data sets. The calculations of the loss function were presented in Equation 1.

$$T_L = F_L + D_L \quad (1)$$

Here, the total loss function (T_L) is produced by summing the focal loss (F_L) and Dice Loss (D_L) functions. F_L function lessens the influence of easy-to-learn instances and concentrates on cases that are challenging to train by adding α and γ parameters to the Cross-Entropy loss function [31]. Equation 2 illustrates the calculation of the F_L function.

$$F_L(p_t) = -\alpha_t (1 - p_t)^\gamma \log(p_t) \quad (2)$$

Here, α is intended to avoid class imbalance, while $\gamma \geq 0$ is the focusing parameter that adjusts concentrating on challenging instances and is typically used as 2.

D_L is a function that assists in resolving issues with unbalanced training data and performs well in binary segmentation tasks. To calculate D_L function, the formula shown in Equation 3 is utilized [32].

$$D_L = \frac{2 \sum_i^N p_i g_i}{\sum_i^N p_i^2 + \sum_i^N g_i^2} \quad (3)$$

Here, p_i and g_i stand for pairs of pixel values that, respectively, represent the prediction and the ground truth.

3. EXPERIMENTS

3.1. Experimental Setup

All experiments were conducted on a 64-bit Ubuntu operating system machine equipped with an Intel (R) Xeon (R) 2.20 GHz CPU, 25.5 GB RAM, and NVIDIA Tesla P100 GPU in the Google Cloud environment. The proposed model was implemented using the segmentation models library which is built on the Keras API and TensorFlow platform with Python programming language [33]. The initial weights of the suggested model were chosen using the transfer learning method [34]. All images utilized in the study were initially resized at 384×384 pixels and normalized using the min-max method. The reason for resizing the images as 384×384 was the necessity of dividing the width and height values of the input layer of the PSPNet model by 6 times the number selected for the downsample factor parameter. In this study, the downsample factor value was determined as 8. The images in the dataset were first divided into two parts. 20% of the data was allocated for testing and 80% for training and then 10% of the data that was reserved for training was utilized for validation. As a result, 635 images were used in the training, 184 images in the test, and 70 images in the validation stages. In the study, the best hyperparameters were determined using a trial-and-error approach. Initially, the hyperparameters that have a significant impact on the models' performance were identified. Subsequently, numerous training processes were conducted for all possible combinations of these hyperparameters. Eventually, the hyperparameters that yielded the highest performance were selected. In Table 1, the hyperparameters of each segmentation model are presented in detail. As can be seen from Table 1, min-max normalization was used for the normalization of the images in the study, and the learning rate was set as 0.0001. Adam was used for optimization. The batch-size value is selected as 2 for EfficientNetB7 and 5 for all other EfficientNet variants. To avoid overfitting during the training stage, an early stopping approach was utilized, and the value of early

stop was set to 10. Accordingly, during training, the validation accuracy value was calculated for each epoch, and training was terminated when the validation accuracy did not rise during the course of the next 10 epochs.

Table 1. Hyperparameters of image segmentation models used in the study

	U-Net	PSPNet	LinkNet	FPN
Image size	384x384	384x384	384x384	384x384
Normalization technique	Min-max	Min-max	Min-max	Min-max
Learning rate	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Batch size (EfficientNet B0-B6)	5	5	5	5
Batch size (EfficientNetB7)	2	2	2	2
Beta_1	0.9	0.9	0.9	0.9
Beta_2	0.999	0.999	0.999	0.999
Upsampling layers (number)	5	5	5	5
Activation function	ReLU-Sigmoid	ReLU - Sigmoid	ReLU - Sigmoid	ReLU-Sigmoid
Padding	Same	Same	Same	Same
Filter Size (Decoder)	256, 128, 64, 32, 16	512, 512, 512, 512, 512	256, 128, 64, 32, 16	128, 128, 128, 128, 128
Pyramid Filters				256
Downsample factor		8		
Kernel initializer	he_normal	he_normal	he_normal	he_normal

3.2. Evaluation Metrics

The effectiveness of the malaria segmentation model suggested in the paper was assessed using the Dice Coefficient, Specificity, and Sensitivity metrics, which are extensively employed in the literature. Dice is computed using Equation 4 and is utilized to assess how well estimation results match the ground truth.

$$Dice = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \quad (4)$$

The formula given in Equation 5 is used to determine sensitivity, which evaluates the success rate of positive sample predictions. Here, TP stands for "true positives", while FN stands for "false negatives".

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

Equation 6's formula calculates specificity, which is a measure of the percentage of correctly detected negative samples. Here, FP stands for the number of false positives and TN stands for the number of true negatives.

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \quad (6)$$

4. RESULTS AND DISCUSSION

Many experiments were conducted to evaluate the malaria segmentation performance and robustness of improved segmentation models proposed in the study. Table 2 displays the best Dice, Sensitivity, and Specificity values obtained for each model as a consequence of the experiments. When the results of each segmentation model with the EfficientNet variations are compared, the U-Net EfficientNetB6 model outperformed all others with a Dice score of 91.50% and a sensitivity value of 91.43%. In terms of Dice score and sensitivity, the best model was followed by FPN_EfficientNetB6, LinkNet_EfficientNetB5, and PSPNet_EfficientNetB7, respectively. On the other hand, the greatest Specificity value acquired in the study was 99.96%, obtained by the FPN_EfficientNetB2 model.

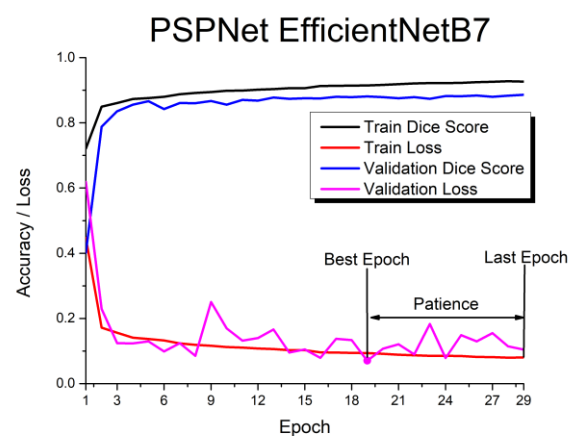
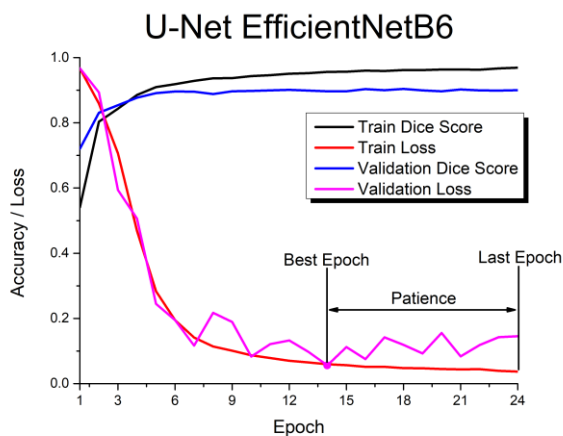
Table 2. Malaria segmentation results of proposed models

Model		Dice Score (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)
U-Net	EfficientNetB0	91.19	89.24	99.93
	EfficientNetB1	90.76	88.20	99.94
	EfficientNetB2	91.23	89.52	99.93
	EfficientNetB3	90.36	88.65	99.92
	EfficientNetB4	91.10	89.92	99.92
	EfficientNetB5	91.12	87.86	99.95
	EfficientNetB6	91.50	91.43	99.91
	EfficientNetB7	90.45	87.31	99.94
PSPNet	EfficientNetB0	85.69	80.23	99.93
	EfficientNetB1	86.20	82.09	99.91
	EfficientNetB2	87.58	83.56	99.93
	EfficientNetB3	86.70	84.92	99.89
	EfficientNetB4	87.19	85.30	99.89
	EfficientNetB5	88.53	86.32	99.91
	EfficientNetB6	87.48	83.67	99.92
	EfficientNetB7	89.12	88.89	99.89
LinkNet	EfficientNetB0	90.49	88.67	99.92
	EfficientNetB1	90.36	88.66	99.92

	EfficientNetB2	89.73	85.63	99.95
	EfficientNetB3	90.71	88.11	99.94
	EfficientNetB4	90.72	90.81	99.90
	EfficientNetB5	91.10	91.00	99.91
	EfficientNetB6	90.62	88.67	99.93
	EfficientNetB7	90.08	87.58	99.93
	FPN	EfficientNetB0	90.88	89.46
EfficientNetB1		89.94	85.68	99.95
EfficientNetB2		90.44	86.04	99.96
EfficientNetB3		90.75	87.94	99.94
EfficientNetB4		90.11	86.09	99.95
EfficientNetB5		91.12	88.63	99.94
EfficientNetB6		91.28	90.21	99.92
EfficientNetB7		91.21	90.72	99.92

Additionally, as can be seen from the table, the results of the PSPNet model with different EfficientNet variants were quite low in comparison to other segmentation models. It was seen that even the lowest Dice Score of the U-Net model, 90.36%, was greater than 89.12%, the highest score of the PSPNet model. Except for the PSPNet model, there were no significant differences observed when utilizing variations of the EfficientNet DL model in the other segmentation models.

The Dice score and loss function curves of the best segmentation models obtained during training were given in Figure 3. The proposed model in the study has the advantage of providing rapid convergence to an optimal solution. The results show that modified segmentation methods with a pre-trained EfficientNet model benefit from the transfer learning strategy.



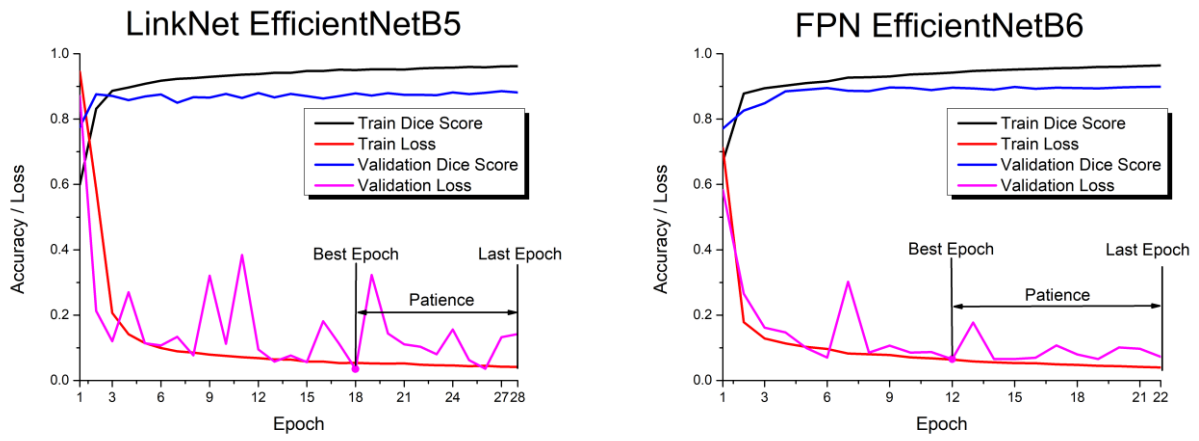
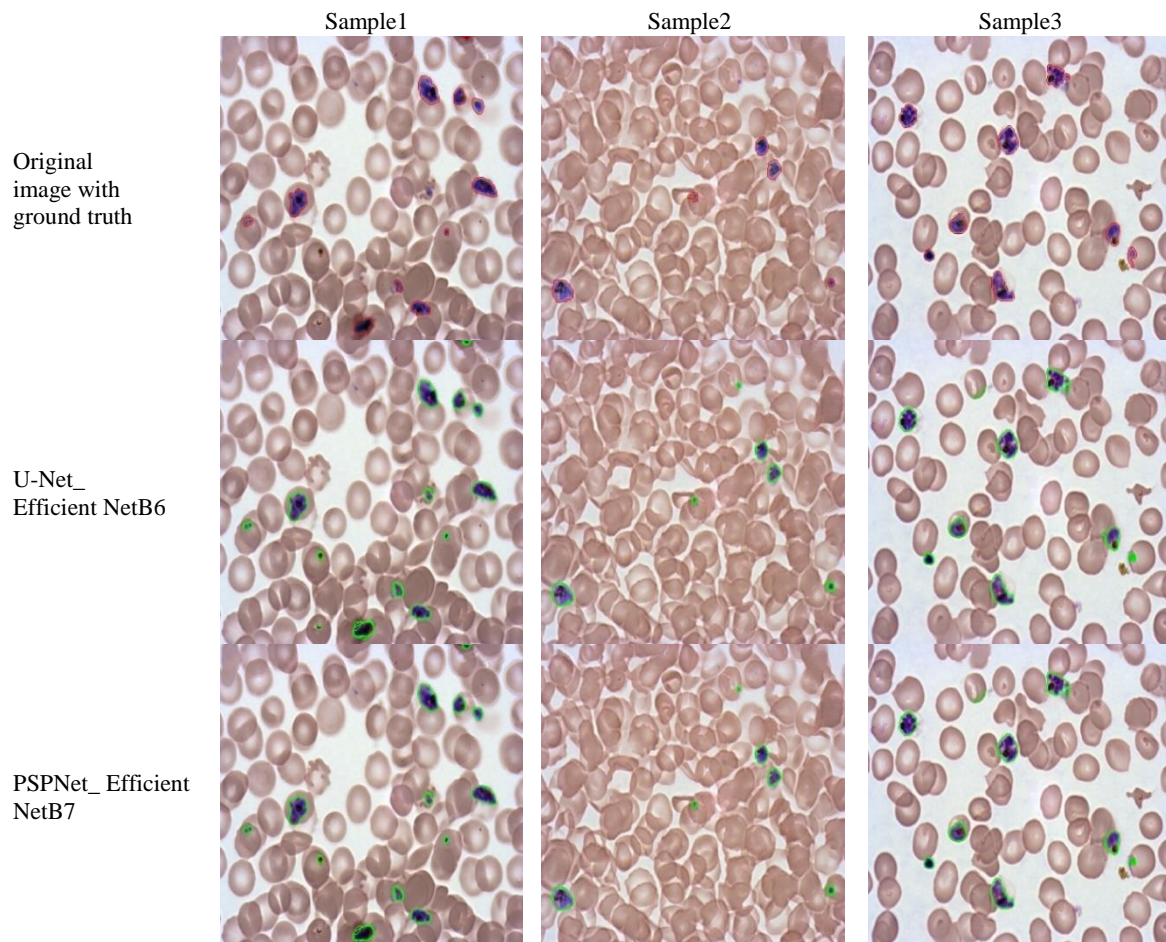


Figure 3. Training and validation accuracy/loss curves of the segmentation models

To visually demonstrate the segmentation effectiveness of the suggested model, three random samples from the malaria dataset were chosen, and the results are shown in Figure 4. Examining Figure 4, it can be seen that the segmentation models suggested in the study produced

excellent outcomes when segmenting small parasite sections. The results showed that the use of rich features learned with the EfficientNet model, which was previously trained on the ImageNet dataset, can improve segmentation performance.



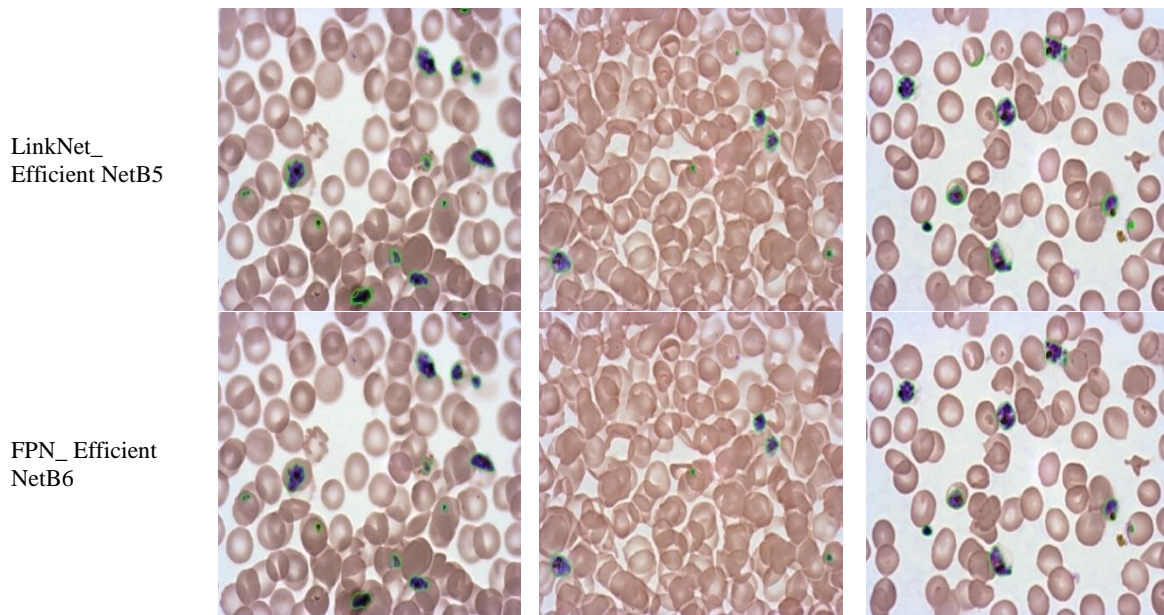


Figure 4. Segmentation results of models on random samples from the dataset.

Since malaria is a deadly disease that affects hundreds of millions of people around the world each year, it is necessary to develop some tools to accurately diagnose malaria cases automatically and quickly. Recently, deep learning-based methods have shown promising performance. For this purpose, in this study customized models based on deep learning architecture were introduced for malaria segmentation. In the proposed approach, the EfficientNet DL model is integrated into U-Net, PSPNet, LinkNet, and FPN segmentation methods. Since the datasets used in previous studies for malaria parasite segmentation in the literature mentioned in the study are varied, the success of the proposed approach was only compared with Abbas and Dijkstra [17] so as to have a fair comparison. Abbas and Dijkstra [17] developed a new two-stage Otsu method for malaria segmentation owing to the fact that they achieved more successful results compared to a simple Otsu segmentation. In their method, they detected the background and red blood cells and parasites in the first stage. In the second step, they reversed the detected background density and segmented the parasites by applying three-level segmentation to this image. With this method, they obtained the highest Dice score of 82.3%. In this study, the highest Dice score value of 91.50% was obtained with the U-Net_EfficientNetB6 segmentation model. This high performance obtained in the study shows that the proposed DL approach can be used effectively to detect parasites.

5. CONCLUSION

In this paper, a novel method based on DL architectures is proposed to assist in the rapid and accurate detection of malaria infection. In the proposed method, four different segmentation models were used to segment the Plasmodium parasite in Giemsa-stained RGB images. In this context, four different deep architectures were designed by using the U-Net, PSPNet, LinkNet, and FPN segmentation models together with 8 different variants of the EfficientNet DL model. The customized models were trained and tested on a relatively large dataset containing 883 images collected from different sources by Abbas and Dijkstra [17]. The U-Net_EfficientNetB6 segmentation model achieved 91.50% diagnosis accuracy on the test set images, showing promising results in the detection of parasites. The proposed approach is believed to serve as a rapid and efficient expert system to assist field clinicians in the early diagnosis of malaria. However, the limited availability of publicly accessible datasets, particularly for segmentation tasks related to malaria diagnosis, presents a constraint on the broad implementation of the deep learning approach proposed in this study. Consequently, the study's limitations encompass the utilization of a solitary dataset for conducting the proposed approach.

In future research, it is planned to develop an architecture with attention blocks that are used for pixel-based prediction in semantic segmentation tasks [35]. In addition, a multi-class segmentation application is aimed to detect the types of Plasmodium parasites in images.

REFERENCES

- [1] Internet: WHO, World Malaria Report 2021, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240040496>, 29.07.2022.
- [2] K. S. Makhija, S. Maloney, and R. Norton, "The utility of serial blood film testing for the diagnosis of malaria", *Pathology*, 47(1), 68–70, 2015.
- [3] B. Nadjm and R. H. Behrens, "Malaria: An update for physicians", *Infectious Disease Clinics*, 26(2), 243–259, 2012.
- [4] L. Zekar and T. Sharman, **Plasmodium Falciparum Malaria**, StatPearls Publishing, Treasure Island (FL), 2022.
- [5] N. M. Pham, W. Karlen, H.-P. Beck, and E. Delamarche, "Malaria and the 'last' parasite: how can technology help?", *Malaria Journal*, 17(1), 1–16, 2018.
- [6] A. Mbanefo and N. Kumar, "Evaluation of malaria diagnostic methods as a key for successful control and elimination programs", *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 5(2), 102, 2020.
- [7] M. L. Wilson, "Laboratory diagnosis of malaria: conventional and rapid diagnostic methods", *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*, 137(6), 805–811, 2013.
- [8] S. Shambhu, D. Koundal, P. Das, V. T. Hoang, K. Tran-Trung, and H. Turabieh, "Computational Methods for Automated Analysis of Malaria Parasite Using Blood Smear Images: Recent Advances", *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.
- [9] Z. Liang et al., "CNN-based image analysis for malaria diagnosis", **2016 IEEE international conference on bioinformatics and biomedicine (BIBM)**, 493–496, Shenzhen, China, 15-18 December, 2016.
- [10] S. Rajaraman et al., "Pre-trained convolutional neural networks as feature extractors toward improved malaria parasite detection in thin blood smear images", *PeerJ*, 6, e4568, 2018.
- [11] D. Bibin, M. S. Nair, and P. Punitha, "Malaria parasite detection from peripheral blood smear images using deep belief networks", *IEEE Access*, 5, 9099–9108, 2017.
- [12] K. Sriporn, C.-F. Tsai, C.-E. Tsai, and P. Wang, "Analyzing malaria disease using effective deep learning approach," *Diagnostics*, 10(10), 744, 2020.
- [13] M. Umer, S. Sadiq, M. Ahmad, S. Ullah, G. S. Choi, and A. Mehmood, "A novel stacked CNN for malarial parasite detection in thin blood smear images", *IEEE Access*, 8, 93782–93792, 2020.
- [14] A. Abubakar, M. Ajuji, and I. U. Yahya, "DeepFMD: Computational Analysis for Malaria Detection in Blood-Smear Images Using Deep-Learning Features", *Applied System Innovation*, 4(4), 82, 2021.
- [15] A. Rahman, H. Zunair, T. R. Reme, M. S. Rahman, and M. R. C. Mahdy, "A comparative analysis of deep learning architectures on high variation malaria parasite classification dataset", *Tissue and Cell*, 69, 101473, 2021.
- [16] M. R. Islam et al., "Explainable Transformer-Based Deep Learning Model for the Detection of Malaria Parasites from Blood Cell Images", *Sensors*, 22(12), 4358, 2022.
- [17] S. S. Abbas and T. M. H. Dijkstra, "Detection and stage classification of Plasmodium falciparum from images of Giemsa stained thin blood films using random forest classifiers", *Diagnostic pathology*, 15(1), 1–11, 2020.
- [18] A. S. A. Nasir, M. Y. Mashor, and Z. Mohamed, "Segmentation based approach for detection of malaria parasites using moving k-means clustering", **2012 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences**, 653–658, Malaysia, 17-19 December, 2012.
- [19] V. V. Panchbhai, L. B. Damahe, A. V. Nagpure, and P. N. Chopkar, "RBCs and parasites segmentation from thin smear blood cell images", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 4(10), 54, 2012.
- [20] J. Hung and A. Carpenter, "Applying faster R-CNN for object detection on malaria images," **Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops**, 56–61, Honolulu, USA, 21-26 July, 2017.
- [21] M. S. Davidson et al., "Automated detection and staging of malaria parasites from cytological smears using convolutional neural networks", *Biological imaging*, 1, e2, 2021.
- [22] D. R. Loh, W. X. Yong, J. Yapeter, K. Subburaj, and R. Chandramohanadas, "A deep learning approach to the screening of malaria infection: Automated and rapid cell counting, object detection and instance segmentation using Mask R-CNN", *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 88, 101845, 2021.
- [23] Z. Yang, H. Benhabiles, K. Hammoudi, F. Windal, R. He, and D. Collard, "A generalized deep learning-based framework for assistance to the human malaria diagnosis from microscopic images", *Neural Computing and Applications*, 34(17), 14223–14238, 2022.
- [24] Internet: Kaggle Dataset, Malaria Segmentation, <https://www.kaggle.com/datasets/niccha/malaria-segmentation> 01.06.2022.
- [25] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation", **International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention**, 234–24, Munich, Germany, 5-9 October, 2015.
- [26] H. Zhao, J. Shi, X. Qi, X. Wang, and J. Jia, "Pyramid scene parsing network", **Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition**, 2881–2890, Honolulu, USA, 21-26 July, 2017.
- [27] M. Long, Y. Cao, J. Wang, and M. Jordan, "Learning transferable features with deep adaptation networks", **International conference on machine learning**, 97–105, Lille, France, 6-11 July, 2015.
- [28] A. Chaurasia and E. Culurciello, "Linknet: Exploiting encoder representations for efficient semantic segmentation," **2017 IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP)**, 1–4, St. Petersburg, USA, 10-13 December, 2017.
- [29] T.-Y. Lin, P. Dollár, R. Girshick, K. He, B. Hariharan, and S. Belongie, "Feature pyramid networks for object detection," **Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition**, 2117–2125, Honolulu, USA, 21-26 July, 2017.

- [30] M. Tan and Q. V. Le, "EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks," **36th International Conference on Machine Learning (ICML)**, 10691–10700, Long Beach, California, 9-15 June, 2019.
- [31] T.Y. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He, and P. Dollár, "Focal loss for dense object detection," **Proceedings of the IEEE international conference on computer vision**, 2980–2988, Venice, Italy, 22-29 October, 2017.
- [32] F. Milletari, N. Navab, and S.-A. Ahmadi, "V-net: Fully convolutional neural networks for volumetric medical image segmentation," **2016 fourth international conference on 3D vision (3DV)**, 565–571, Stanford University, California, USA, 25 - 28 October, 2016.
- [33] Internet: P. Yakubovskiy, Segmentation Models, GitHub repository. https://github.com/qubvel/segmentation_models, 01.07.2022
- [34] J. Yosinski, J. Clune, Y. Bengio, and H. Lipson, "How transferable are features in deep neural networks?," arXiv Prepr. arXiv1411.1792, 2014.
- [35] H. Li, P. Xiong, J. An, and L. Wang, "Pyramid attention network for semantic segmentation," arXiv Prepr. arXiv1805.10180, 2018.

Akıllı Yönetim Bilişim Sistemlerinde Yapay Zeka ve Kuantum Bilişimin Değerlendirilmesi

Literatür Makalesi/Literature Article

 Ahmet EFE

¹Dr., CISA, CRISC, PMP, Senior Field Auditor, ESSN Audit Department,
International Federation of Red Cross and Red Crescent (IFRC), Ankara, Türkiye

icsiacag@gmail.com

(Geliş/Received:17.10.2022; Kabul/Accepted:04.06.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1190670

Özet— Literatürdeki çalışmalar, kuantum bilgisayarların hafıza probleminin çözülmesinin, yaygın olarak kullanılacak yapay zeka (YZ) algoritmalarında çığır açıcı gelişmelere yol açarak süreçleri, stratejileri, ekonomiyi ve politikaları etkileyeceğini göstermektedir. YZ ve kuantum bilişim teknolojilerinden yararlanarak mevcut yöntemleri iyileştiren kuantum uyarlamalı algoritmalar yaygın olarak uygulanmaktadır. Kuantum bilgisayarların alt iş parçacıklarını oluşturmayı hedefleyen hibrit kuantum sistemleri ile yeni gelişmeler elde edilse de bu gelişmelerin gelecekte nereye varacağı ve ne tür fayda ve riskler içerdiği tam olarak tahmin edilememektedir. Bu çalışmada, çağdaş ve disiplinler arası literatür bilgisine dayalı olarak, laboratuvar ortamında uygulamaları yeni başlayan kuantum bilgisayarların, süper YZ uygulamalarının ve kuantum hesaplama yöntemlerinin makine öğrenmesi üzerindeki ve potansiyel kullanımları yönetim bilişim sistemleri (YBS) disiplini perspektifinden incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Kuantum bilgisayarların donanımsal ve maliyetle ilgili dezavantajlarının yakın zamanda ortadan kalkacağı ve gelecekte yeni kuantum uygulamalarının fazlaca geliştirileceği iddia edilmektedir. Bu, aslında Endüstri 4.0 ve Toplum 5.0 uygulamalarında nesnelerin interneti (IoT) ve robotik otomasyonun yaygın kullanımına uyum sağlamanın bir gereği olarak düşünülebilir. Bu nedenle, gelecekte keşfedilebilecek yeniliklerin rehberliğini gerçekleştirmek için YZ ve kuantum bilişimin teorik ve kavramsal yönleri çoklu disiplinler olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler— kuantum teknolojisi, akıllı MIS, ışınlanma, yapay zeka

Assessment of the Artificial Intelligence and Quantum Computing in the Smart Management Information Systems

Abstract— Studies in the literature argue that solving the memory problem of quantum computers (QC) will lead to groundbreaking developments in artificial intelligence algorithms affecting every process, strategy, business, and policies. Quantum adaptive algorithms have been widely applied, which improve existing methods by taking advantage of artificial intelligence and quantum computing. Although new developments are achieved with hybrid quantum systems, which aim to have sub-threads made by quantum computers, it cannot be predicted precisely where these studies will reach in the future and what kind of benefits and risks, they involve. In this study, based on the knowledge of contemporary and interdisciplinary literature, the current and potential uses of quantum computers, super artificial intelligence applications, and quantum computing methods on machine learning, whose applications have just begun in the laboratory environment, are examined, and assessed from the perspective of Management Information Systems (MIS) discipline. It is claimed that the hardware disadvantages of quantum computers will disappear, and new quantum applications will be developed in the future. This is a requirement of adaptation to the prevalent usage of IoT in Industry 4.0 and Society 5.0 applications. Therefore, theoretically, and conceptual aspects of AI and quantum computing are evaluated to realize guidance of the innovations that can be discovered in the future.

Keywords— quantum technology, smart MIS, teleportation, artificial intelligence

1. INTRODUCTION

Quantum theory is the basis of quantum cryptology. Quantum theory explains the nature and behavior of matter and energy in modern physics at the atomic and subatomic levels (electron, proton, and neutron) [1]. The operational structure of today's quantum computers (QC) is based on quantum mechanics. Max Planck, Albert Einstein, Louis de Broglie, Neils Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrodinger, Max Born, and Paul Dirac contributed to developing quantum mechanics [2]. Quantum information technology is the leading guardian of the second quantum revolution and is based on 'second order' effects once little known and predicted by quantum theory. These effects were introduced at the earliest in 1935 in an article written by Einstein, Podolsky, and Rosen (EPR), drawing attention to the fact that some carefully prepared quantum systems have non-local, entangled, non-classical correlations between them [3]. Einstein, Podolsky, and Rosen correlations are not only a manifestation of the usual wave-particle duality but a new kind of high-level quantum effect that manifests itself only in precisely designed human-made quantum architectures. In 1981, Richard Feynman introduced a quantum computer at the Massachusetts Institute of Technology [4]. According to Feynman, quantum physics laws could be used in a computer, but those quantum mechanical systems could not be correctly applied in a classical computer. Still, a new type of machine (QC) produced could fully simulate a molecule in the future [5]. In 1989, scientists at IBM were able to spell the company's name using 35 xenon atoms on a nickel [6]. In 1994, Peter Shor developed a quantum computing-powered algorithm to break encryption systems [7]. Shor's algorithm can crack cryptographic keys based on the factorization of large numbers [8]. This invention is considered a turning point in terms of quantum cryptology [9].

In 2016 IBM launched Q Experience, arguably the most comprehensive platform [10]. In July 2017, Chinese scientists sent an information packet from Tibet to an orbiting satellite up to 870 miles (1,400 kilometers) above the earth's surface. Scientists irradiated the quantum state (information about its polarization) into orbit [11]. In 2018, Rigetti's Forest developed Aliyun of Alibaba, which launched a quantum cloud computing service collaborating with Google's Cirq and the Chinese Academy of Sciences [10]. In October 2018, D-Wave Systems launched Leap, its real-time cloud access to quantum annealer hardware [10]. IBM was able to run its most giant quantum computer, a 53-qubit model, and Amazon Web Services has added a research-oriented quantum computing service called Bracket to its infrastructure. Rigetti Computing, in which 2019 QC join IonQ and D-Wave in Amazon's Bracket service, introduced a 32-qubit quantum computer. 2019 Microsoft said it is almost ready to power quantum computing based on "topological" qubits. They launched the 2019 Azure Quantum cloud computing service. 2019 Intel announced the production of a quantum computing controller chip called Horse Ridge, designed to shrink and simplify the hardware needed to communicate with

quantum processors that house qubits. 2019 Google announced that the fastest supercomputer achieved quantum supremacy by performing a task that took 10,000 years on a 53-qubit quantum computing chip in 200 seconds [12]. In August 2017, Chinese scientists announced establishing the first private quantum communication network [13]. IBM has set a goal of building a computer containing 1000 qubits by 2023. In February 2020, Chinese scientists entangled two quantum memories 50 kilometers apart with fiber optic cables, 40 times the previous record [14].

1.1. Problem Statement

The article aims to assess the potential impact of quantum computing and artificial intelligence in smart management information systems (MIS) and their potential use in industry 4.0 and society 5.0 applications. The authors argue that hybrid quantum systems and quantum adaptive algorithms can improve existing AI methods, but the hardware limitations of quantum computers remain a challenge. The study aims to evaluate the theoretical and conceptual aspects of AI and quantum computing and provide guidance on their potential benefits and risks.

1.2. Assumptions

This study lean on the following basic assumptions:

1. Quantum computing can revolutionize the way we approach problems in various fields, including smart MIS and AI.
2. Quantum computing can overcome some of the limitations of classical computing, especially in processing large amounts of data and solving complex optimization problems.
3. The integration of quantum computing and AI can lead to more powerful and efficient algorithms, with the potential to transform various industries.
4. Quantum computing is still in its early stages of development, and there are hardware limitations that need to be addressed before realizing its full potential.

1.3. Research Hypothesis

The study has the following hypothesis: The integration of quantum computing and AI can lead to breakthroughs in smart MIS and industry 4.0 applications, with the potential to transform various industries. However, hardware limitations and risks associated with quantum computing need to be addressed before realizing its full potential.

Therefore, with a multidisciplinary approach, it is argued that the effects of this on the economy and business processes can occur at unpredictable levels. Accordingly, first of all, the conditions that trigger quantum computing are examined; what kind of approaches can be put forward to solve urbanization problems are evaluated; E-government and MIS applications are analyzed; The arrival

of quantum computing products and the strategies of interested big companies are mentioned.

2. CONDITIONS THAT TRIGGERS QUANTUM COMPUTING

Quantum computing does not improve the existing technology but creates a new field in technology. QC cannot perform the simple operations that classical computers do. However, they can solve problems that cannot be solved with classical mechanics, with the available memory and operating power. This new system will support the development of artificial intelligence technologies and provide new cryptographic information to information and communication systems. By opening the doors of new technology for the design of new materials, tools, and equipment that can be produced, it will perform fast and effective searches in big data quickly.

With today's state-of-the-art computers, a job that would take hours, maybe even days, can be done in a short time that can be measured in milliseconds. Secure communication and encrypted communication opportunities in the field of information and communication technology will be achieved thanks to QC. Quantum computing systems will achieve the desired efficiency from new generation technologies. QC decrypt passwords and cryptocurrencies, providing some advantages and disadvantages to governments in terms of defense and security. Quantum computing can threaten the defense and cybersecurity of traditional businesses. Quantum technology, which can break crypto algorithms developed for today's computers efficiently, will cause a severe security weakness when implemented. Now, it is essential to see the critical triggers behind this technology.

2.1. Advances in Artificial Intelligence

It is necessary to consider intelligence as the "ability to process data" to better refer to artificial intelligence. The concept of artificial intelligence, which started to be used in the 1950s, has started to be used in many stages of life today, together with more and more critical developments, and can be defined as a set of techniques that enable computers to imitate human behavior [15].

Artificial Neural Networks (ANNs), which imitate the working principle of the human brain, appear as one of the artificial intelligence technologies [16,17]. We have reached today, modern computers can process much better data than people, even without interpreting yet. Artificial Intelligence has become an area where action can be taken on more extensive data, especially with the development of Big Data and Deep Learning fields [18].

As questions like "Can, people investigate this more accurately, or is it a social network knitted with artificial intelligence?" were multiplied, it was not enough to analyze them. It is necessary to add comments that artificial intelligence emerged with this need. 'Artificial Intelligence'

pushing the boundaries of intelligence is a branch of science that deals with the ability of machines to produce solutions to complex problems like humans. This is usually done by taking the characteristics of human intelligence and applying them to the computer as algorithms. According to the requested or desired needs, The most effective or less flexible or practical approach to what effect is to be displayed, even though it appears to be an improvement in artificial intelligence ICT, includes mathematics, biology, psychology, philosophy, etc. other sciences. The combination of information in all these areas depends on developments in artificial intelligence.

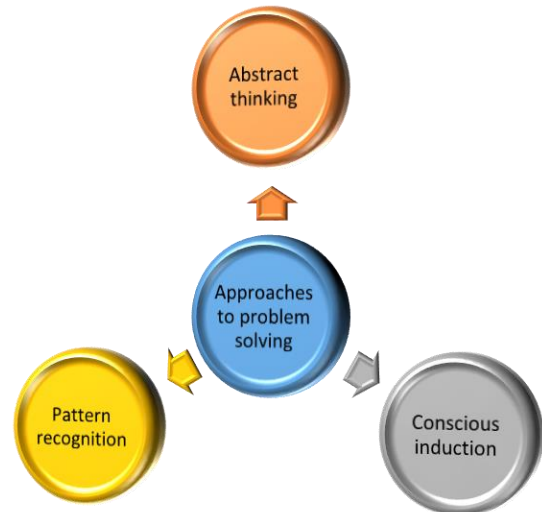


Figure 1. Three ways to approach problems

The potential uses and impact of the application of expert systems technology to entomology and agriculture are explored. The most common type of expert system, the rule-based approach, is described.

The representation of information in the form of rules and the interpretation of rules by the system is explained. Based on this general description of expert systems, three types of application are discussed: diagnostic systems, simulation delivery systems, and large-scale systems that act as integrators of different kinds of knowledge (e.g., expert opinion, objective information, and simulation models) [19]. Unlike humans, computers cannot realize special situations and adapt to new requirements.

Artificial intelligence aims to improve the behavior of machines in such complex tasks. Many synthetic intelligence types of research have enabled us to understand our mental behavior better. People have interesting approaches to problem-solving based on abstract thinking, conscious induction, and pattern recognition. Artificial intelligence will help us understand

this process by refreshing and exceeding our existing capacity.

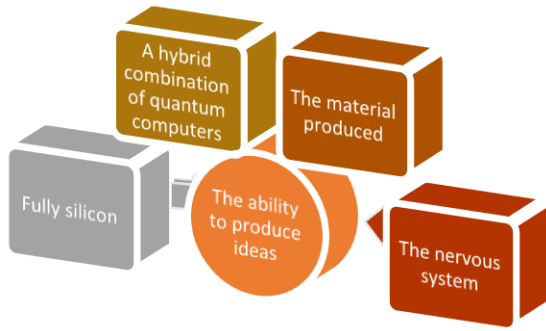


Figure 2. Ideas production abilities

One of the critical aspects of creativity is producing original ideas. Originality is defined as the novelty and rarity of an idea and is measured by the infrequency of a concept and structure compared to existing others [20]. Many different approaches have not been proven correct or wrong on artificial intelligence. While some appear to be much more helpful, new alternatives are constantly produced. Over the past 50 years, artificial intelligence researchers have often turned to solve specific problems. Numerous solutions have been made and implemented effectively and reliably in this context. It is certain that artificial intelligence, which has been the subject of many science fiction films until now, will carry our daily life in many different directions with the acceleration and development of research in this direction in the following years. Although the application areas mentioned above are only a tiny amount of this, especially for military purposes, many people have been embellishing their fantasies for the past years. Artificial intelligence crumbs are still used in the game world, the most crucial entertainment tool often used by the young population. The robots will fight soon instead of people.

The machines can now comment and combine the collected data to create a standard synthesis. By learning their pattern, predictions can be found much faster than human beings as part of the functionalities of new generation MIS and ERP systems. Now that artificial intelligence is in the field of management information systems. To exemplify a little more on what does the mayor do? The mayor reviews the inputs, plans, and investments, listening to the mass of people he addresses while optimizing these plans. How can he hear? "What does this city need?" The question is the question a mayor sought the most. Can a person do this more efficiently, or is it a system that can correctly interpret the correct data statistics organized by surveys or even receive feedback through social media? Undoubtedly, existing technology is ready for the existence of such artificial intelligence. So, current technology can now manage a city, and likewise, the same goes for a company or even a country. What is the chairman of the board of companies or political parties doing? First, he listens to stakeholders, but he appeals to hundreds of staff, and it is

impossible to listen to all staff. Therefore, it does not access the correct data by filtering it to reach knowledge and wisdom.

Much data is being prepared about marketing research. Decisions are generally made with human-made reports. It says; we should enter this area or move to that area. Artificial intelligence can make a much more comfortable decision than a person in a marketing field by analyzing the data. When we look at the world, most companies and countries have already started to accept the AI situation to all MIS and ERP applications. Unfortunately, most companies are still not ready for modern understanding in some countries because they prefer traditional methods. After a certain period, all companies will have to surrender to artificial intelligence in their MIS and ERP systems. A product will be controlled and manufactured by a trusted



Figure 3. Elements of Healthcare

company or roofing company. Developing, trusted companies follow high technology closely and adapt quickly to the situation.

2.2. Digital Health and Need for Privacy

Implementing an open innovation framework in the healthcare industry, namely general health, enhances health-related organizations' innovation and creative capability by building a next-generation collaborative framework with partner organizations and the research community [22]. Digital Transformation in Health Industry 4.0, which enables the development of patient-specific devices, provides significant advantages in medical manufacturing. This decentralized production model can make production decisions without operator intervention. This production model provides robustness, autonomy, self-regulation, personal care, repair, and predictability.

Thus, the automatic production of fully personalized products for patient needs is practical, highly efficient, and economical. Due to the high quality of each product, patient-specific device production offers unmatched.

Although the costs of these devices are now a problem, they will be used extensively in a few years with Industry 4.0 solutions. Let us look briefly at digital transformation success with giant steps in developing the health sector in Turkey.

Medical devices are becoming intelligent, intelligent health devices, communicating with health monitoring systems and remote physicians. Bosch produces piston filling machines for liquid pharmaceutical agents such as cough syrup. It gives an immediate warning if specific components are used near the device. In addition, quality controls and service maintenance are performed. Reciprocating filling machines, such as printed circuit boards, is also networked production, enabling smaller batches according to customer requirements [23].

eHealth services facilitate the secure and straightforward exchange of essential health data between healthcare providers within and between countries. E-healthcare 4.0 poses some challenges, particularly:

- Epidemiological- and clinical-data mining systems: Big Data and Smart Data
- Cybersecurity solutions and services
- ICT-based mobility solutions
- Medical-image management and processing solutions
- Remote healthcare systems (telemedicine) working on both a patient-physician and physician-physician basis: telepediatrics and teleophthalmology platforms
- Intraoperative surgery and radiotherapy planning and simulation systems
- Monitoring and follow-up systems for chronic, multi-pathology patients
- Telerehabilitation systems
- Mobility systems, humanitarian aid, and emergency-management infrastructure
- Technology consultancy and optimization of processes

2.3. *The solution finding Approaches to Urban Problems*

A broad spectrum of blockchain applications promises solutions for problems ranging from risk management and financial services to cryptocurrency and the Internet of Things (IoT) to public and social services. Furthermore, the convergence of Artificial Intelligence (AI) and blockchain technology is revolutionizing the intelligent city network architecture to build sustainable ecosystems [24]. Smart City solutions are implemented in such a way as to enable decision-making based on real-time information integrated into the information technology infrastructure systems of cities such as the Urban Information System (UIS) and Geography Information System (GIS). Smart city solutions can be examined under energy, water, transportation, urban, and health services. Smart City creates a digital ecosystem of the following functionalities [25] :

- Electricity networks take account of interconnected user behavior for sustainable, economic, and safe electricity supply.
- To utilize renewable natural resources such as the sun, water, and wind. Water quantity and quality management with hydrological cycle stages are predominantly agricultural and industrial.
- Street lights used in the lighting of public spaces also fulfill other functions such as air pollution control or wireless internet connection. (Central management systems communicating with street lamps can reduce operating costs and provide instant information about weather conditions).
- To improve the logistics flow in the city by effectively integrating traffic situation, geographical and environmental factors, and working life requirements.
- To establish wireless networks to monitor the conditions of crops and manage crop cultivation processes.
- To provide information before travel and, more importantly, during the journey by using dynamic and multimodal information systems to improve the transport and traffic quality and efficiency.

2.4. *E-Government and Cyber MIS Applications*

As the government and the political process become more transparent, participatory, online, and multimedia-rich, there is an excellent opportunity to adopt advanced AI and intelligent systems research in e-government and politics 2.0 applications [26]. E-Government Digital transformation transforms the government because it digitizes public services. This change in Turkey is significant because we complain of the "bureaucratic state" tradition. For businesses in the public sector, each enterprise had to create a certain number of jobs, which would end. The goal of the e-Government apps is to provide public required services through a single address, such as password, electronic signature, mobile signature, and authentication systems.

A new application is emerging every day, with the banks constantly changing their service types and integrating them with developing technologies. Internet banking is one of the recent applications. Each bank has an internet banking system using Fintech AI. This service can be used with many tools such as computers, phones, and tablets. In this way, the most straightforward process to keep banks' path has been date and a few clicks from anywhere. Several other digital enterprises, customers, and devices touched digital ecosystems. Over the past few years, social, mobile, analytics, and cloud (SMAC) companies have come together to create a storm of digital transformation, reshaping markets, and changing the way we work and live [27].

Turkey has gained significant momentum in digital development and transformation point; perhaps it has also become a country that will shape the future of this transformation. The company sees the pulse of the

customer there; it can receive immediate return there. At this stage, proper communication with the brand's target audience contributes to the brand's reputation management in the long term. Therefore, brands that catch this potential one step ahead will lead their sector.

The amount of information produced and stored globally is unimaginable and grows every day. This shows the potential for providing critical insights from business information, yet very few have been analyzed. What does this mean for companies? How can companies benefit from this information that has not been studied? When the big data is combined with powerful analyzes, the following can be accomplished:

- To identify the root causes of real-time errors and problems.
- To make sales coupons based on customers' buying habits.
- To recalculate the risks of new portfolios.
- To detect wrong behavior before affecting functioning. Big data directly affects each industry branch.

2.5. Society 5.0

Digital transformation is essentially a social transformation. Its definition is "through the high degree of merging between cyberspace and physical space, will be able to balance economic advancement with the resolution of social problems by providing goods and services that granularly address latent manifold needs regardless of age, location, sex, or language" [28].

In addition to the internet of objects, big data, and artificial intelligence in production, societies started to develop by introducing information technology and advanced technology in this integrated framework in their new disciplines. Today, while the world's cultures are ranked, a new ranking is made: Hunter-Society, Agricultural-Society, Industrial-Society, Information-Society, and Intelligent-Society 5.0.

While advanced and developing countries discuss the advantages and disadvantages of industry-pioneered by Germany, Japan, which uses high-tech systems such as robotics and digital technology, is not associated with industry 4.0. Japan, Germany's pioneering approach to the development process in the world and its own country, sees Industry 5.0 as a philosophy. The age of humanity, which started with the hunter society, is now transitioning from the information society to super-intelligent communities [29].

The concept of "Society 5.0" defines this "super-smart society." It is a concept that was first recorded in Japan. Japan's approach to Industry 4.0 from a social perspective is mainly due to 3 reasons; The country's aging population, natural disasters in terms of having geography, and risk of environmental pollution and energy costs. Society 5.0 is

regarded as a revolution that can eliminate these problems,

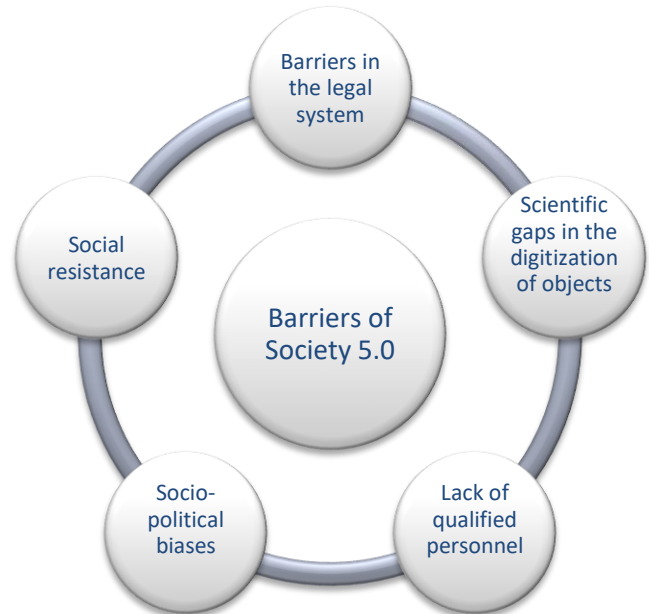


Figure 4. Five key barriers to Society 5.0

which are severe enough to destroy the country's future by integrating the technological innovations brought by Industry 4.0 most efficiently.

The five essential barriers need to be demolished to develop Community 5.0. Communities must cooperate to break down these barriers and continue Community 5.0. These are briefly the developments regarding Community 5.0 in the world.

3. THE ADVENT OF QUANTUM COMPUTING PRODUCTS

Today, the computers we use are out of life, instead of QC. Traditional computers define numbers as 0s and 1s; QC; use quantum fragments or 'cubits' on an atomic scale. On the other hand, QC are an alternative to existing computers composed of small electron stoppers called transistors. Here are the questions that stir our minds:

- What is the 'Quantum Computer' expected to cause revolutionary changes?
- Will computers be running at quantum speed, breaking conventional encryption?
- Can Quantum technology provide opportunities for teleportation?
- Will the post-quantum society be able to use the power of Gins and other spirituals?

'Qbits' instead of one simultaneously, all 'logic works. The qubit can have both 0 and 1 at the same time. They do not work by stopping electrons like standard computers and producing bits. Instead, they use photons called cubits and generate data. The essence of the job; can also be 0 and 1.



Figure 7 Branches of Quantum Technology

Moreover, this system is revolutionary in terms of efficiency and performance. QC, studied since 2012, were first a room size. The work continues rapidly. It is said that 10-20 years of the process is needed for models used in real life [30]. For 'normal' computers, 'material science' is sufficient, but for QC, the professors of MIT Physics continue to work! They are now huge, but in what areas will they make our lives easier when they are up in the future?

QC, which are an unusual alternative to 'normal' computers of 0 and 1 's, reveal the technological revolution because they promise to solve the problems that will take years to solve in a short time, even if they are still taking their first steps. Unstructured data will lead to more intensive use of large data infrastructures. One of the reasons IBM opened this project to the public is finding who will seek answers to what questions? It is already a big mistake to compare with 'normal' computers regarding speed! It is essential to ask the correct question. Questions answers; will also open the door to the everyday use of QC.

Despite all expectations, the ideas and projections about QC' role in our lives may be entirely out of place. The presence of transistors had evolved to the present day when smartphones were produced and virtually connected. With quantum technology, we will make a much more significant jump.

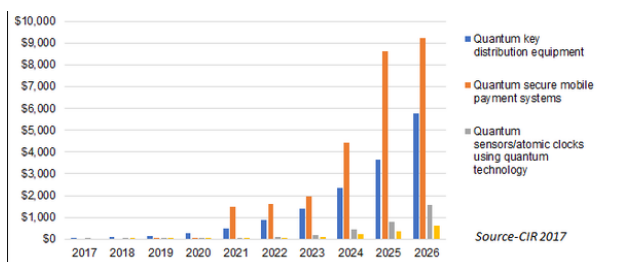


Figure 5. Ten-year Forecasts of Quantum Spending by End-User Segments (\$ Millions)

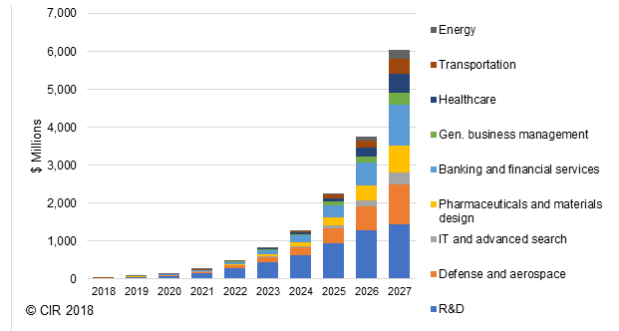


Figure 6. Quantum Network Revenues (\$ Millions)

Source: CIR 2017

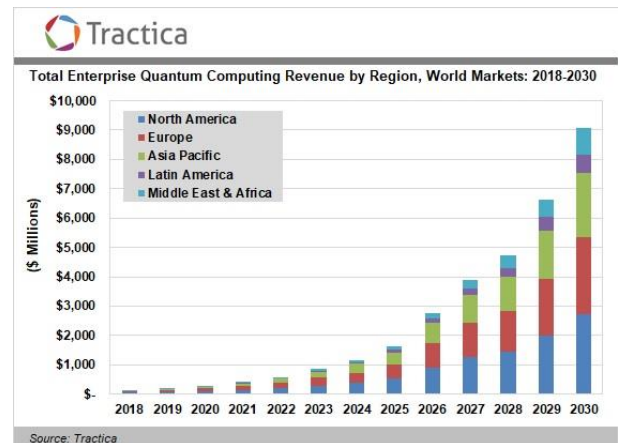


Figure 8. Total Enterprise Quantum revenue b Region, Markets

While many companies have been talking about them for years, the difference between the current one is that the table we see now has real quantum processors under their hands. We should try to answer the question, "Who produces these devices and how, on which physical technology, to whom does it sell?"

3.1. D-Wave: 'The' Quantum Computer Firm

To talk about the commercialization of QC, we first need to look at the history of the D-Wave company, Founded in Canada in 1999. D-Wave became the most current researcher and entrepreneur in the field, aiming to make a quantum computer. In contrast to a universal quantum computer, these devices were only systems designed to solve specific problems, using partial benefits of quantum mechanics (working with numbers such as solving the optimization problem using physical systems' low energy orientation) [31].

D-Wave from computers really after many years of discussion of whether they show quantum effects 2015 Google already purchased the D-Wave 2X system for his work as a result of classical on sometimes they have tested that 100 million positions faster announced. D-Wave had already sold to big names like Lockheed Martin and

NASA. They established a subsidiary company that specifically deals with the US. In addition, D-Wave continues to create potential customers for the future by providing cloud service via D-Wave Leap, which enables newly established techno-enterprises to access devices in exchange for membership and data sharing agreements.

3.2. IBM and the Universal Quantum Computer

After D-Wave, perhaps the longest-running commercial activity in this field, IBM, quantum IT initiatives are based much earlier than D-Wave. The commercial breakthrough IBM started with IBM Q System at the beginning of 2018. However, what is the difference between IBM devices and D-Wave? Understanding Quantum Computer, the probability distributions of zeros, and the matrix system in our article on QC are essentially the universal quantum computer model tools. In D-Wave's 2000 qubit system, it is sufficient to monitor the behavior of the overall system rather than the individual control of each qubit [32].

In contrast, IBM's 50 qubit processors require monitoring of the connection of each qubit to other qubits, clearing unwanted interactions, regular error checking. This makes D-Wave 2000 to 4000 relatively easy to upgrade, making IBM even harder to go from 50 to 60. However, this does not prevent IBM from gaining commercial revenue from its devices, developing software languages, and offering device access to potential customers.

3.3. Google and New Big Actors

In 2014, Google itself entered the race for making QC. The new quantum processor Bristlecone announced the 72 qubit superiority of the new chip with quantum limit beyond which plans to enter the top researchers in the Chinese market Google Alibaba. Sad news came from Bristlecone due to error rates in chips. It was noted to be inadequate to achieve this goal. Of course, this does not change that Google will be a powerful player in this market in hardware, software, and infrastructure.

Intel announced its 49-qubit processor Tangle Lake in 2018. Thanks to its partnership with the QuTech headquarters in the Netherlands, Intel has gained experience in custom chip production and has first-hand access to the research resources needed for the infrastructure of the quantum internet (QuTech aims to establish the first 'quantum internet in 4 cities by 2020'). This gives Intel a 'first-turn advantage' in identifying the possible quantum hardware infrastructure of the future internet.

Honeywell is a brand that most of us do not know in Turkey, continuing its actions financed activities for about 130 years, an annual turnover of over US \$ 40 billion. If Honeywell were included in this list, they would produce ion-trapped qubits that operated with 99.997% accuracy (fidelity) announced at the beginning of 2019. However,

introducing processors capable of physically making universal QC based on ion traps can start a severe technological transformation. The qubits of IBM and D-Wave's superconducting systems are much lower inaccuracy, making it difficult and costly to troubleshoot error correction and percentage minor quantum effects [33].

Honeywell is not the only company working in this field, but many start-ups and resident companies are experimenting with ion traps. Of course, the high accuracy of the individual qubits does not guarantee that they can be easily entangled or linear scaling up. Nevertheless, serious investment in a different physical system provides a possible alternative to the story that IBM wants to convince everyone of, the future's quantum computer will consist of superconductors.

It was inevitable that Microsoft, like Google, would be involved. However, Microsoft is trying to develop topological qubits 'as an alternative to their methods rather than outperforming their competitors IBM and Google and trying to outperform them technically (we will discuss this issue in another article specifically).

4.4. Business expectations on what should be done

Investing in quantum informatics is not a new topic, and even an excellent article was written at the Economist last year. To distinguish between two classes of venture capital investments, the investments made to get a share from the market that will develop in quantum technologies and the investments made to obtain a percentage from the development of quantum technologies market.

It is like the first-class technology investments we know. To rely on the product or infrastructure to be developed by a firm and invest money believing that its value will increase investment faster than alternative investment tools. At the end of this way, the company can pay the agreed price and buy shares from or sell the company to a more significant wholesale buyer because the firm's product and infrastructure (including people) have value.

The second class is about intellectual property-based value generation in emerging technology fields. In an emerging and burgeoning area, it is finding an area that has not been extensively patented before and supporting companies that will operate there, then selling intellectual property portfolio.

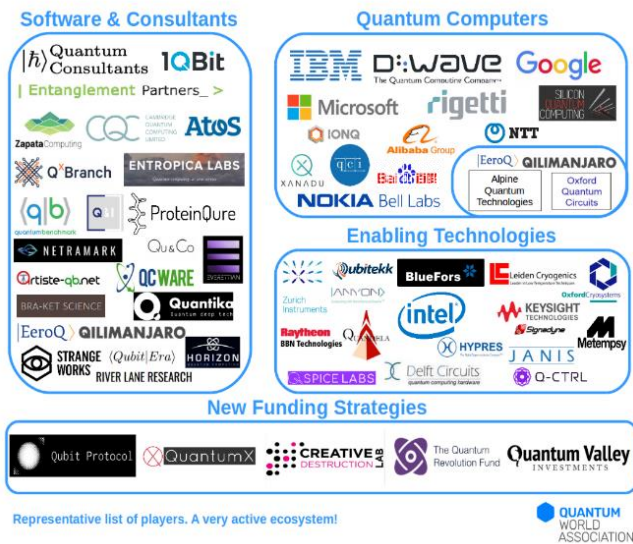


Figure 9. Company list for Quantum Computing

There are dozens of companies, venture capital ventures, suppliers, and end-users that we cannot handle here in the commercial ecosystem of QC, and these numbers are increasing every day. Even though there is still a minimal and niche area within the general business informatics atmosphere, quantum computer-based commercial activities are expected to reach \$ 10 billion annually in the next 5–10 years. This means almost nothing compared to the overall IT market volume, but a tremendous acceleration for a technology that foresees the earliest 2050s for commercialization ten years ago. Even if it is unclear what the future will bring, it is clear that an approach beyond quantum "every word and wish is a prayer" is essential.

5. AN ASSESSMENT FROM MIS PERSPECTIVE

AI techniques, such as machine learning, deep learning, and natural language processing, have enhanced the decision-making process, data analysis, and operational efficiency of MIS [34]. On the other hand, quantum computing has the potential to address complex computational problems, which were once deemed intractable by classical computers, thereby further improving the capabilities of smart MIS [35].

AI technologies have been successfully applied in smart MIS to optimize resource allocation, predict trends, and automate various business processes [36]. For instance, AI-powered recommendation systems have revolutionized e-commerce by offering personalized product suggestions to customers, leading to increased sales and improved customer satisfaction [37]. Furthermore, AI-driven chatbots have enabled organizations to provide instant customer support, thereby enhancing user experience and reducing operational costs [38].

Quantum computing, although still in its infancy, has demonstrated promising potential to revolutionize smart MIS by offering significant computational advantages

[39]. Quantum algorithms, such as Shor's algorithm for factoring large numbers and Grover's algorithm for searching unsorted databases, are expected to drastically impact data security and database management in MIS [40], [41]. Additionally, quantum machine learning algorithms hold the potential to outperform classical algorithms in terms of efficiency and accuracy, leading to improved decision-making in smart MIS [38].

Despite the numerous benefits, integrating AI and quantum computing in smart MIS also presents certain challenges. Issues related to data privacy, algorithmic bias, and the lack of standardized regulations must be addressed to ensure ethical and responsible use of these technologies [42]. Furthermore, organizations must invest in employee training and upskilling to adapt to the rapidly changing technological landscape and harness the full potential of AI and quantum computing in smart MIS [43].

Therefore, the integration of artificial intelligence and quantum computing in smart management information systems has the potential to drastically enhance decision-making, data analysis, and operational efficiency. However, it is crucial to address the challenges associated with data privacy, algorithmic bias, and regulatory frameworks to ensure the responsible and ethical use of these technologies.

6. CONCLUSIONS

Digital transformation is for all layers of society, but it imposes different tasks on different social groups. For example, preparing a 5G broadband strategy and laying the country with broadband fiber-optic networks is one of the duties of the public sector as it is a business to be carried out directly with public investments. However, communities are sensitive to the environmental and health effects of 5G, particularly after the COVID19 pandemics in 2021. On the other hand, it is among the duties of related institutions and companies to use information technologies effectively in production, take necessary security measures, and make employees willing to learn and use new technologies. We have to go from digital transformation to technological transformation and place the idea of digital transformation on the central axis for social transformation.

One of the distinguishing features of the fourth industrial revolution is the emergence of global digital platforms closely associated with the physical world and the ecosystem created by these platforms. A digital code should not be understood as a part of the ecosystem. The Digital Ecosystem is more; service providers should consider infrastructural practices enabling the exchange of services, encouraging the transfer of information with its environment, and supporting stakeholders.

Entrepreneurial companies offering innovative solutions shook the traditional corporate strategies of existing companies. For this reason, the market share, which is

already in operation with conventional methods, will start feasibility studies with a digital platform, large companies will seek ways to maintain their income without a headquarters or permanent staff. In summary, they will be forced to review their corporate strategies.

Digital transformation is a very radical revolution. It enables the development of transparent and sustainable asset/value sharing models in the economy. Such transformations create new problems with robust large-scale platforms that offer unlimited content access for the goods and service producers, which strategy should be interacted with, and how to define product ownership criteria.

It is a very short-term perspective to see improved in-house productivity as the main reason for the Digital Transformation. It does not take advantage of strategic benefits and makes it difficult for staff to engage in digital transformation. Companies need to carefully consider how they position the Internet of Things (IoT) and other advanced technologies, how they use these technologies to transform staff from "data-phobic" to "data fans," and explain their benefits. Successful technology changes are adapted from the bottom to the top, and people guide them. The personnel must be involved. The opportunities for progress and development for all must be clearly explained. Imagine a maintenance engineer who hears predictive maintenance from the system.

There are a few points to be bulleted:

- Consider how your organizational structure needs to be developed to strengthen digital transformation. For large companies, there is the option to create new departments that are structured for digital enterprises that protect analytical skills and feed them within the company.
- Carry out a digital competency inventory: There is a great need for staff to be trained in data management and analysis. Companies need to meet this need to be successful in digital enterprises. Start identifying motivated people to take their skills to the next level as part of this digital inventory.
- The proper development of skills is significant. HR teams need to decide which existing tasks need to be developed and where new capabilities are needed. Bring instructors from outside the company to gain new perspectives.
- Work with local universities to attract talents and direct schools to focus their education on the right areas. Recruitment programs offer real-life programming experience to university students and help improve the company and the student. Internship programs discover local talents, support them and provide space for development.
- Decide where to focus. Digital transformation has three basics to succeed: Technology, investment, and human capital.

The technology aspect of the business is often the most successful way of directing because it is guided by technologists who have clearly defined areas of responsibility. The main question is whether focusing on the right technology to perform the transformation at the right time. As for the investments, as we have seen in this survey, companies think they are investing enough in digital transformation, but do they focus on the right areas? The results indicate an intense focus on process efficiencies.

Finally, people are often the most forgotten factor in digital transformation. This is important from the point of view of both talent and communication. If more than 50 percent of the unwillingness to change is seen as the main obstacle, employee communication is crucial to ensure that staff knows the purpose of change and its effect. Therefore, it may be necessary to focus on more innovation-oriented investments. Research on which big enterprises are getting the most benefit from quantum technology delivered some interesting results across multiple industry sectors [44]:

- **Insurance**—The potential applications of quantum calculation begin with the valuation of financial instruments (e.g., bonds, derivatives), options and guarantees in insurance products, and operational risk measurement.
- **Finance**—The banking sector presents many challenges, including portfolio optimization, asset pricing, risk analysis, fraud detection, and market forecasts for QC.
- **Chemicals and pharmaceuticals:** Drug discovery is costly and requires calculations to simulate molecules.
- **Energy**—The two main interconnected problems that quantum computing can solve in the energy sector are to optimize the current network structure and to predict the appropriate energy usage.
- **Transportation**—The best example of quantum computing is traffic optimization by Volkswagen and D-Wave. Traffic flow optimization minimizes the time for a given set of cars to travel between their individual starting points and destinations. Hardware implementations of quantum annealing, such as the quantum processing units (QPUs) produced by D-Wave Systems, have been subject to multiple analyses in research to characterize the technology's usefulness for optimization and sampling tasks.
- **Logistics:** Operations-related supply chain issues are often nearly impossible to optimize with traditional computers. This area can reap numerous benefits from quantum computing entering the market. Alibaba has begun to experiment with its hardware. It is currently building a superconducting quantum computer in its Hangzhou headquarters, and Alibaba wants to reach a point where quantum computing is scalable.

- **Automotive and aerospace:** Management of a large fleet of autonomous driving or flying vehicles creates optimization problems that are rapidly scaled by the number of cars.
- **Materials:** Industries based on better batteries, microchips, or network architectures can explore quantum computing to stimulate new possibilities or optimize existing structures.
- **Blockchain and cybersecurity:** Blockchain is all about secure transactions and contracts. It is based mainly on cryptographic methods and is vulnerable to cyberattacks involving the latest technologies.
- **Internet:** Making QC in various parts of the world and creating an internet network based on quantum mechanics has accelerated. Quantum teleportation will lead to new developments in transportation and communication and medical and military.
- **Teleportation:** Scientists at the University of Bristol and the Technical University of Denmark announced in April 2020 that they had developed a new quantum teleportation technology thanks to quantum entanglement mechanisms. Thus, for the first time, data was teleported between the two chips.

It is predicted that quantum computing, which opens the doors of an innovation era, will be among the future technology trends with its plus and minus aspects. Universities carry out studies on quantum, which have extraordinary technological potential. The number of courses on quantum computing in universities should be increased, and specialization in this field should be ensured. The future of quantum computing, which will create a new career opportunity for young people, is already curious. Teleportation took place thanks to a phenomenon called quantum entanglement. Quantum entanglement is where the two parts are intertwined enough to communicate long distances. Thus, the change on one particle immediately affects the other particle. There is no theoretical distance barrier for quantum entanglement.


REFERENCES

- [1]. M., Rouse, **Quantum Theory**. Techtargat, <https://whatis.techtargat.com/definition/quantum-theory>, 2020.
- [2]. N., Gürsakal S., Çelik "Kuantum Bilgisayarlar Teknolojik Anlamda Ne Getirecek?", **Küresel Ekonomiye Yön Veren Yeni Teknolojiler**, Ed: Pakdemirli, B., Gürsakal, N., Bayraktar, Z., & Takmaz S., 23-48, Akçağ Yayınları, Ankara, 2020.
- [3]. A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?", *Physical review*, 47(10), 777. 1935
- [4]. R. P. Feynman, "Simulating physics with computers", *Int. J. Theor. Phys*, 21(6/7), 1999.
- [5]. Preskill J., "Quantum Computing in the NISQ era and beyond", *Quantum*, 2, 79. 2018.
- [6]. Unimelb, **A brief history of quantum**. Unimelb, <https://pursuit.unimelb.edu.au/articles/a-brief-history-of-quantum>, 2020.
- [7]. L., Chen S., Jordan Y. K., Liu D., Moody R., Peralta R., Perlner D. Smith-Tone, "Report on post-quantum cryptography", Vol. 12, US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology. 2016.
- [8]. Shor P. W., "Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring," *Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, Santa Fe, NM, USA, pp. 124-134. 1994
- [9]. Çelik, S. "Kuantum Kriptolojisi ve Siber Güvenlik". *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14 (1), 53-64, 2021. DOI: 10.17671/gazibtd.733309
- [10]. BCG, **the next decade in quantum computing—and how to play**, BCG Publications 2018, November 15. <https://www.bcg.com/publications/2018/next-decade-quantumcomputing-how-play>
- [11]. J., Emspak, **Chinese scientists just set the record for the farthest quantum teleportation**, *Space news*, July 15. <https://www.space.com/37506-quantum-teleportation-record-shattered.html>, 2017
- [12]. S. Shankland, **Quantum computing leaps ahead in 2019 with new power and speed**, *CNET News* <https://www.cnet.com/news/quantumcomputing-leaps-ahead-in-2019-with-new-power-and-speed/>, 2019
- [13]. G., Zhe, Not only satellite: China's quantum network connects Beijing, Shanghai and the space. *CGTN News*, https://news.cgtn.com/news/7a49544d33557a6333566d54/share_p.html 2020
- [14]. A., Cho, **IBM promises 1000-qubit quantum computer—a milestone**—by *Sciencemag* 2023. <https://www.sciencemag.org/news/2020/09/ibm-promises-1000-qubit-quantum-computer-milestone-2023>, 2020
- [15]. S. Savaş, "Artificial Intelligence and Innovative Applications in Education: The Case of Turkey". *Journal of Information Systems and Management Research*, 3 (1), 14-26. 2021, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jismar/issue/63377/852043>
- [16]. R. Benzer, & S. Benzer, "Yapay Zeka ile Siber Zorbalık Eğiliminin Belirlenmesi". *Journal of Information Systems and Management Research*, 1 (1), 67-72, 2019. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jismar/issue/51306/659487>
- [17]. Özkişi, H. & Topaloğlu, M. "Fotovoltaik Hücrenin Verimliliğinin Yapay Sinir Ağı İle Tahmini". *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (3), 247-253, 2017. DOI: 10.17671/gazibtd.331035
- [18]. M. A., Koşan, A. Coşkun, & H. Karacan, "Yapay Zekâ Yöntemlerinde Entropi". *Journal of Information Systems and Management Research*, 1 (1), 15-22, 2019. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jismar/issue/51306/639389>
- [19]. N. D. Stone, R. N., Coulson, R. E. Frisbie, D. K. Loh, (1986) "Expert Systems in Entomology: Three Approaches to Problem Solving", *Bulletin of the Entomological Society of America*, Volume 32, Issue 3, Fall, Pages 161–166, <https://doi.org/10.1093/besa/32.3.161>

- [20]. M. Naama, E. Ayelet, Shamay-Tsoory G. Simone, "Generating original ideas: The neural underpinning of originality", *NeuroImage*, Volume 116, Pages 232-239, ISSN 1053-8119, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.05.030>.
- [21]. G. Sanjana and K. Puja, "Inevitable future: Space Colonization with 3D Printers and Artificial Intelligence", e-Conference on Artificial Intelligence and Machine Learning (eC-AI & ML) 2020: Research Opportunities and Applications in the field of Engineering & Science
- [22]. L. Guodong, Shen Tao, Tan Yue, Gerrard Leah, C. Allison, J. Jing, "Federated Learning for Privacy-Preserving Open Innovation Future on Digital Health", *Journal of Distributed, Parallel, and Cluster Computing*, 2021, <https://arxiv.org/abs/2108.10761>
- [23]. A. Pott, **Industry 4.0 in the medical technology and pharmaceutical industry sectors**, *Gesundheit Articles*, 2016, <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/en/article/dossier/industry-40-in-the-medical-technology-and-pharmaceutical-industry-sectors>
- [24]. S. Saurabh, S. Pradip Kumar, Y. Byungun, S. Mohammad, C. Gi Hwan, R. In-Ho, "Convergence of blockchain and artificial intelligence in IoT network for the sustainable smart city", 2020, *Sustainable Cities and Society*, Volume 63, 102364, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102364>.
- [25]. F. Meshur Alkan "Understanding Smart City Solutions in Turkish Cities From the Perspective of Sustainability", *Smart Grid Analytics for Sustainability and Urbanization*, 2018 DOI: 10.4018/978-1-5225-3996-4.ch009
- [26]. S., Zeng Chen K. K. R., Choo "An IND-CCA2 secure post-quantum encryption scheme and a secure cloud storage use case", *Human-centric Computing and Information Sciences*, 9(1), 1-15. doi: 10.1186/s13673-019-0193-6, 2019.
- [27]. S. Padder, (2019) **Challenges facing enterprises in the post-digital era**, *CIO Dialogues*, <https://www.ciodialogues.com/index.php/business-insights/challenges-facing-enterprises-in-the-post-digital-era/>
- [28]. D. Atsushi, H. Chiaki, M. Hideyuki, N. Taku, O. Kohei, T. Mitsuharu, and T. Shigeyuki (2020) **What Is Society 5.0?**, ISBN 978-981-15-2989-4 Hitachi-UTokyo Laboratory (H-UTokyo Lab.) (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4>
- [29]. Hivo, **What is Society 5.0?" Super Intelligent Society" Humans and Robots Together**, Hivo News, 2021, <https://hiwo.com/2021/07/21/what-is-society-5-0-super-intelligent-society-humans-and-robots-together/>
- [30]. D. Danyal, **Kuantum Hesaplamanın Günümüz Şifrelemesine Etikisi**, *Medium News*, 2020, <https://medium.com/@devrimdanyal/kuantum-hesaplaman%C4%B1n-g%C3%BCn%C3%BCm%C3%BCz-%C5%9Fifrelemesine-etkisi-cb42eb8516bc>, 14.03.2020.
- [31]. H. Feng, Lamata Lucas, Sanz Mikel, Chen Xi, Chen Xingyuan, Wang Chao, Solano Enrique, "Quantum computing cryptography: Finding cryptographic Boolean functions with quantum annealing by a 2000 qubit D-wave quantum computer", *Physics Letters A*, Volume 384, Issue 10, 2020, 126214, ISSN 0375-9601, <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2019.126214>.
- [32]. Alvarez-Rodriguez, U., Sanz, M., Lamata, L. et al. "Quantum Artificial Life in an IBM Quantum Computer". *Sci Rep* 8, 14793 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33125-3>
- [33]. L. Grossman, "The Quantum Quest for a Revolutionary Computer", *TIME Magazine*, Monday, February, 2014 17. <http://content.time.com/time/subscriber/article/0,33009,2164806,00.html>
- [34]. Russell, S. J., & Norvig, P. **Artificial intelligence: a modern approach** (3rd ed.). Pearson, 2016.
- [35]. Preskill, J. "Quantum computing in the NISQ era and beyond". *Quantum*, 2, 79, 2018.
- [36]. Davenport, T. H., & Ronanki, R. "Artificial intelligence for the real world". *Harvard Business Review*, 96(1), 108-116, 2018.
- [37]. Zhang, K. Z., Zhao, S. J., & Xu, J. "Predicting e-commerce sales based on users' browsing behavior with online search engine". *Decision Support Systems*, 90, 1-11, 2016.
- [38]. Gartner. **Artificial Intelligence Software Revenue to Reach \$62 Billion in 2022**, Gartner Forecasts Worldwide 2021. Retrieved from <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2021-09-27>
- [39]. Biamonte, J., Wittek, P., Pancotti, N., Rebentrost, P., Wiebe, N., & Lloyd, S. "Quantum machine learning". *Nature*, 549(7671), 195-202, 2017.
- [40]. Shor, P. W. "Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer". *SIAM Review*, 41(2), 303-332, 1997.
- [41]. Grover, L. K. A fast quantum mechanical algorithm for database search. **Proceedings of the Twenty-Eighth Annual ACM Symposium on the Theory of Computing**, 212-219, 1996.
- [42]. Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. "The ethics of algorithms: Mapping the debate". *Big Data & Society*, 3(2), 2053951716679679. 2016.
- [43]. Bughin, J., Hazan, E., Ramaswamy, S., Chui, M., Allas, T., Dahlström, P., ... & Trench, M. **Skill shift: Automation and the future of the workforce**. McKinsey Global Institute, 2018.
- [44]. A. Efe, "Anticipating the Disruptive and Incremental Innovations Brought by Quantum Computing", *ISACA Journal*, 2020, <https://www.isaca.org/resources/isaca-journal/issues/2020/volume-1/anticipating-the-disruptive-and-incremental-innovations-brought-by-quantum-computing>

Sıkma-Uyarma Artık Ağı kullanılarak Beyaz Kan Hücrelerinin Sınıflandırılması

Araştırma Makalesi/Research Article

 Hüseyin FIRAT

Bilgisayar Mühendisliği, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye

huseyin.firat@dicle.edu.tr

(Geliş/Received:23.02.2023; Kabul/Accepted:06.06.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1255477

Özet— Beyaz kan hücreleri, vücudun parazitler, bakteriler, virüsler gibi mikroorganizmalara karşı korunmasında etkin rol oynayan bağışıklık sisteminin önemli bir bileşenidir. Beyaz kan hücrelerinin yapısal özellikleri, alt türlerinin şekilleri ve sayıları insan sağlığı hakkında önemli bilgiler verebilmektedir. Hastalık teşhisinde doğru beyaz kan hücre tespiti klinik olarak oldukça önemlidir. Bu yüzden, doğru beyaz kan hücre sınıflandırma yöntemi kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, beyaz kan hücre sınıflandırması için Evrişimsel sinir ağı (ESA) tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem sıkma-uyarma ağı ile artık ağ mimarisinin birleşiminden oluşan hibrit bir yöntemdir. Derin ağ mimarilerinde katman sayısı arttıkça oluşabilecek problemler artık ağ ile çözülebilmektedir. Sıkma-uyarma (SU) bloğunun artık ağ ile birlikte kullanımı, toplam parametre sayısını minimum düzeyde artırırken sınıflandırma doğruluğunu arttırmaktadır. Aynı zamanda, SU bloğunun artık ağ ile birleştirilmesi geleneksel artık ağların performansını da arttırmaktadır. Önerilen yöntemin performansını test etmek için Kaggle veritabanından alınan BCCD veriseti kullanılmıştır. Uygulamalar sonucunda ortalama %99,96 doğruluk, %99,92 kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru elde edilmiştir. Bu sonuçlar, literatürden BCCD verisetini kullanan son yıllardaki çalışmalarda yer alan ESA yöntemlerinin elde ettiği sonuçlarla karşılaştırıldı ve önerilen yöntemin daha az eğitilebilir parametre ile daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler— beyaz kan hücresi, sınıflandırma, sıkma-uyarma artık ağı, evrişimsel sinir ağı

Classification of White Blood Cells using the Squeeze-Excitation Residual Network

Abstract— White blood cells (WBCs) are an important component of the immune system that plays an active role in protecting the body against microorganisms such as parasites, bacteria and viruses. The structural features of WBCs, the shapes and numbers of their subtypes can provide important information about human health. Accurate WBC detection is clinically very important in the diagnosis of the disease. Accordingly, an accurate WBC classification method is of critical importance. In this study, a CNN-based method for WBC classification is proposed. The proposed method is a hybrid method consisting of a combination of squeeze-excitation (SE) network and residual network (ResNet) architecture. The problems that may occur as the number of layers increase in deep network architectures can be solved with ResNet. The use of the SE block with ResNet increases the classification accuracy while minimally increasing the total number of parameters. At the same time, combining the SE block with the ResNet improves the performance of traditional ResNets. The BCCD dataset from the Kaggle database was used to test the performance of the proposed method. As a result of the applications, an average of 99.96% accuracy, 99.92% precision, recall and F1-score were obtained. These results were compared with the results obtained by the CNN methods in recent studies using the BCCD dataset from the literature, and it was seen that the proposed method gave better results with less trainable parameters.

Keywords— white blood cell, classification, squeeze-excitation residual network, convolutional neural network

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan kanı, oksijen taşıma, yenilenme, pıhtılaşma, bağışıklık vb. gibi vücudun çeşitli işlevlerinden sorumlu olan farklı hücreler içerir. Kanın dört ana bileşeni plazma, kırmızı kan hücreleri (eritrosit), kan pulcukları (trombositler) ve beyaz kan hücreleridir (lökosit) [1]. Beyaz kan hücreleri vücudun savunma sisteminde çok önemli bir role sahiptir. Yabancı patojenlerle savaşmaktan ve vücudu bakterilerden, virüslerden, parazitlerden ve diğer mikroorganizmalardan korumaktan sorumludur [2]. Koronavirüs'e karşı zorlu bir mücadelenin devam ettiği günümüzde, bu tür ölümcül virüslere karşı antikor üretmek oldukça önemli bir görevdir [3]. Beyaz kan hücreleri, bu tür ölümcül enfeksiyonlara karşı mücadelemizin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu nedenle kandaki beyaz kan hücrelerinin sınıflandırılması, çeşitli hastalıkların erken teşhisi için tıbbi analizde önemli rol oynamaktadır. Beyaz kan hücreleri, hücrenin boyutu, çekirdeğin şekli, çekirdek loblarının tipi, granüllerin sitoplazma-çekirdek oranı boyama özellikleri ve işlevi gibi çeşitli özelliklere göre beş ana türe ayrılabilir [4]. En yaygın beş tür ve sağlıklı bir insanın kanında bulunan yüzdelik değerleri şu şekildedir: Nötrofil (%50-70), Monosit (%2-10), Eozinofil (%1-5), Bazofil (%0-1), Lenfositler (%20-45) [5]. Tüm bu beyaz kan hücreleri türleri vücudumuzdaki virüs, bakteri, mantar ve diğer her türlü enfeksiyonla mücadelede etkin işleve sahiptir.

Doğru beyaz kan hücresi analizi ve incelemesi klinik olarak oldukça önemlidir. Bu hücre türlerinin görünüşleri arasındaki benzerlik nedeniyle insan gözü tarafından sınıflandırılması çok zordur [6]. Beyaz kan hücresi tanımlama, sınıflandırma ve nicel analiz süreci hem manuel hem de otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Daha önce hematoloji analizörü tarafından beyaz kan hücre görüntülerini sınıflandırmak için tanıtılan model manuel işlemdi ve zaman alıcıydı. Ayrıca hematoloğun deneyimine bağlıydı ve algılamada hatalar getirebilmekteydi [7]. Daha sıklıkla, beyaz kan hücre sınıflandırmasını gerçekleştirmek için klinik olarak otomatik bir beyaz kan hücre analiz cihazı kullanılmaktadır. Bu ticari analizörler, sınıflandırma için segmentasyon ve örüntü tanıma algoritmalarını kullanarak hızlı ve düşük maliyetli analizler gerçekleştirebilir. Bu analizörler, zaman tasarrufuna ve ucuzluğuna rağmen, morfolojik korelasyonların hem güvenilirliği hem de tespiti açısından manuel sınıflandırmadan daha düşük sonuçlar vermektedir [5][8].

Otomatikleştirilmiş beyaz kan hücresi sınıflandırma algoritmaları, uzun zamandır araştırmalarda ilgi alanı olmuştur. Kenar tespiti, piksel bazında şablon eşleştirme, gri tonlama kontrastı, Gram-Schmidt ortogonalite süreci ve bulanık sapma ve değiştirilmiş eşikleme teknikleri gibi son yirmi yılda çok sayıda teknik önerilmiştir [8]. Daha yakın zamanlarda, geleneksel algoritmalarındaki sınırlamalar ve hesaplamalı işlem gücündeki artış, araştırmaları kan hücresi sınıflandırması için destek vektör makineleri [9], bayes sınıflandırıcıları [10] ve rasgele orman [11] gibi makine öğrenimi yöntemleri geliştirmeye yöneltti. Bu

makine öğrenimi tekniklerinde, sınıflandırmanın doğruluğunu elde etmeye katkıda bulunan belirli morfolojik beyaz kan hücre özellikleri dikkate alınmıştır. Geometrik, dokusal, istatistiksel, dalgalı özellikleri, girdi görüntülerinden çıkarılmış ve sınıflandırma için rastgele orman, destek vektör makinesi gibi sınıflandırıcılara verilmeden önce özellik seçimine tabi tutulmuştur.

Özellikle Erişimli sinir ağlarını (ESA) içeren derin öğrenme yöntemleri şu anda beyaz kan hücre sınıflandırmasında kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel makine öğrenimi yöntemleri özellikleri manuel çıkarmaktadır. Bu yöntemlerin aksine derin öğrenme özellikleri otomatik olarak çıkararak sınıflandırma doğruluğunu arttırmaktadır [12]. ESA, güçlü kendi kendine öğrenme yetenekleri sayesinde görüntülerde daha güçlü semantik bilgilere sahip derin özellikleri çıkarabilmektedir. Bundan dolayı, son yıllarda beyaz kan hücrelerinin sınıflandırılması için geleneksel sınıflandırıcıların aksine ESA tabanlı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, beyaz kan hücresi sınıflandırması için yeni bir ESA tabanlı sınıflandırma modeli önerilmiştir. Önerilen model, modelin eğitim parametrelerini ve modelin aşırı öğrenme riskini azaltmak için artık ağ (Residual network) ve Sıkma-Uyarma (SU) (Squeeze-Excitation-(SE)) bloğu kombinasyonuna dayalı bir modeldir. SU ağının artık ağ ile birlikte kullanımı, toplam parametre sayısını minimum düzeyde artırırken sınıflandırma doğruluğunu arttırmaktadır. Aynı zamanda, SU ağının artık ağ ile birleştirilmesi geleneksel artık ağların performansını da arttırmaktadır. Bu birlikte kullanım ESA tabanlı yöntemimizin performansını diğer ESA yöntemlerinden daha iyi hale getirmektedir. Önerilen yöntemin sınıflandırma doğruluğunu test etmek için literatürde sıklıkla kullanılan ve kaggle'da bulunan BCCD veriseti üzerinde bir dizi uygulamalar gerçekleştirilmiştir. BCCD veriseti, 4 tür beyaz kan hücresi içerdiğinden dolayı, sınıflandırma bu 4 tür için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, mevcut en son teknoloji yaklaşımlara kıyasla dört hücre türünden elde edilen değerlerin makro ortalaması alındığında %99,96 sınıflandırma doğruluğuna ulaşan yöntemin üstün performansını göstermiştir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2'de, beyaz kan hücre türlerinin sınıflandırılması için literatürde yapılmış araştırmalar çalışmaları yer almaktadır. Çalışmanın teorik arkaplanı, çalışma kapsamında kullanılan veriseti ve çalışmada önerilen derin öğrenme tabanlı yöntem Bölüm 3'de yer verilmiştir. Bölüm 4'te gerçekleştirilen deneylerin sonuçları tartışılmıştır. Son olarak Bölüm 5 olan sonuç bölümünde ise, çalışmanın genel bir değerlendirilmesine yer verilmiştir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED WORKS)

Son yıllarda kan analizinin hastalarda birçok rahatsızlığı ortaya çıkarması nedeniyle kan hücresi sınıflandırma araştırmaları önem kazanmıştır. Makine öğrenimi ve derin öğrenme tekniklerini içeren Bilgisayar destekli teşhis sistemlerindeki ilerleme, bu araştırmaları yeni boyutlara taşımıştır. Beyaz kan hücrelerinin otomatik olarak algılanması için beyaz kan hücresi türlerinin sınıflandırmasını gerçekleştirmek üzere çeşitli derin öğrenme modelleri geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu bölümde, beyaz kan hücre türlerinin sınıflandırılmasında derin öğrenme yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığını bildiren bazı literatür çalışmaları sunulmaktadır. Örneğin, Girdhar vd. [1] beyaz kan hücrelerinin sınıflandırılması için ESA tabanlı bir yöntem önerdi. Önerilen yöntemin performansını test etmek için BCCD veriseti kullanıldı. Önerilen ESA'nın genel sınıflandırma doğruluğu %98,55'tir. Liang vd. [13] beyaz kan hücresi sınıflandırması için ESA ve tekrarlayan sinir ağını birleştirerek bir yöntem geliştirdi. Geliştirilen yöntem yaklaşık 60 milyon eğitilebilir parametreye sahiptir. BCCD veriseti kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalarda %90,79 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Ekiz vd. [14] yaptıkları çalışmada hem ESA hem de destek vektör makinelerini kullanmışlardır. BCCD veriseti ile gerçekleştirilen uygulamalarda ilk olarak sadece ESA kullanılarak %83,91 sınıflandırma doğruluğu bulunmuştur. Daha sonra evrişimsel katmanlardan elde edilen özellikler destek vektör makineleri için uygun hale getirilip eğitim gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde de %85,96 doğruluk bulunmuştur. Cheuque vd. [15] beyaz kan hücresi sınıflandırması için Faster R-ESA ile MobileNet'in birlikte kullanıldığı iki aşamalı hibrit bir yöntem sunmaktadırlar. İlk aşamada, mononükleer hücrelerin polimorfonükleer hücrelerden ayrılması ile birlikte beyaz kan hücrelerinin tanımlanması için Faster R-CNN ağı uygulanmaktadır. Ayrılma işleminden sonra, ikinci seviyedeki alt sınıfları tanımlamak için MobileNet yapısına sahip iki paralel evrişimli sinir ağı kullanılmaktadır. Önerilen yöntem 1,093,218 eğitilebilir parametre içermektedir. BCCD veriseti ile gerçekleştirilen uygulamalarda %98,4 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Yao vd. [16] beyaz kan hücresi sınıflandırması için iki modül ağırlıklı optimize edilmiş deforme olablen evrişimli sinir ağları yöntemini önerdi. Ayrıca önerilen yöntem, sağlamlığın iyileştirilmesi için iki modül transfer öğrenme ve deforme olablen evrişimli katmanlar olarak karakterize edilmektedir. Önerilen yöntem yaklaşık 60 milyon eğitilebilir parametre içermektedir. BCCD veriseti kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda %95,7 F1-skor değeri bulunmuştur. Patil vd. [7] kan hücresi görüntü sınıflandırma görevi için ESA ve LSTM'yi birleştirerek kanonik korelasyon analizi (KKA) tabanlı derin öğrenme mimarisini sunmaktadır. KKA, girdi görüntüsünden çeşitli örtüşen özellikleri çıkarır ve böylece diğer benzer derin öğrenme algoritmalarına kıyasla doğruluk oranını artırır. İnce ayar ve transfer öğrenimi, beyaz kan hücresi verisetini eğitmek için kullanılır. Sunulan yöntem, giriş kan hücresi görüntülerini segmentasyon ve özellik çıkarma aşamaları olmadan sınıflandırır. KKA tabanlı yöntem 23 milyon

eğitilebilir parametreye sahiptir. BCCD veriseti üzerinde gerçekleştirilen uygulamalarda %95,89 sınıflandırma doğruluğu bulunmuştur. Khan vd. [17] kan hücrelerinin mikroskopik görüntülerden otomatik olarak tanımlanması için derin öğrenmeye ve transfer öğrenmeye dayalı etkili bir model tanıttı. Model, önceden eğitilmiş bir AlexNet'e dayalı olarak, farklı katmanlardan çok katmanlı evrişimsel özelliklerin birleştirilmesinden oluşmaktadır. Çeşitli görsel özellikler içeren çoklu derin katmanlar, beyaz kan hücresi sınıflandırma doğruluğunu geliştirmek için kullanıldı ve bu özellikler birleştirildiğinde yüksek boyutlu özellik vektörleri üretildi. Özellik seçme stratejisi, özellik füzyon havuzundan en ayırt edici özellikleri seçmek için kullanıldı. Daha sonra, kan hücrelerinin türü tanımlamanın ayırt edici bir modelini öğrenmek için aşırı öğrenme makinesi kullanıldı. BCCD veriseti ile gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda elde edilen sınıflandırma doğruluğu %99,12'dir. Ha vd. [18] beyaz kan hücreleri sınıflandırma görevini yarı denetimli bir şekilde araştırmış ve ince taneli etkileşimli dikkat öğrenimi yaklaşımını önermiştir. Önerilen yöntemin ana ilham kaynağı, yarı denetimli çerçevenin, daha az etiketli örneklerle etiketlenmemiş kan hücresi görüntülerinden bağıntılı bilgileri keşfedebilmesi ve insanların genellikle nesneleri ikili bir şekilde ayırt etmesidir. Çok az miktarda açıklamalı kan hücre görüntüsü ile önerilen yöntem, her kategori için 75 etiketli görüntü verirken BCCD veri setinde ortalama %93,2'lik bir doğruluk elde etmiştir. Baghel vd. [19] beyaz kan hücresi sınıflandırması için ESA tabanlı bir yöntem önermiştir. ESA tabanlı yöntem 519,860 eğitilebilir parametre içermektedir. Önerilen yöntem BCCD verisetini kullanarak %98,9 sınıflandırma doğruluğu elde etmiştir. Kishore vd. [20] parçacık sürüsü optimizasyon algoritması ile optimize edilmiş evrişimli sinir ağı kullanarak beyaz kan hücrelerini sınıflandırmayı önerdi. Bu yöntemde, ESA hiper parametreleri, beyaz kan hücrelerini beş türe ayırmada ağ performansını iyileştirmek için parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanılarak optimize edildi. BCCD ve LISC verisetleri kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda %99,24 sınıflandırma doğruluğu bulunmuştur. Sengür vd. [21] beyaz kan hücresi sınıflandırması için LSTM tabanlı bir yöntem geliştirdi. Bu yöntemin BCCD veriseti kullanıldığında elde edilen sınıflandırma doğruluk değeri %85,7 olarak bulunmuştur. Çınar vd. [22] Hibrit Alexnet-GoogleNet ve destek vektör makinesi kullanılarak beyaz kan hücrelerinin sınıflandırması için bir model geliştirdiler. Sunulan model, önceden eğitilmiş Alexnet ve Googlenet mimarilerine dayanmaktadır. Her iki ESA mimarisinin son havuzlama katmanındaki özellik vektörü birleştirilmiş ve ortaya çıkan özellik vektörü destek vektör makinesi tarafından sınıflandırılmıştır. BCCD ve LISC verisetleri ile gerçekleştirilen uygulamalarda %99,85 ile %98,23 doğruluk değerleri elde edilmiştir. AlexNet, GoogleNet ve destek vektör makineleri kullanılarak BCCD veriseti ile gerçekleştirilen uygulamalarda önerilen yöntem 67 milyon eğitilebilir parametre içermektedir. Ridoy ve Islam [23] beyaz kan hücresi sınıflandırması için özellik çıkarma ve seçme yöntemini otomatikleştirmek ve sonuçları bu alanda yapılan diğer çalışmalarla incelemek için hafif bir ESA modeli önerdiler. Önerilen hafif ESA modeli 407,716 eğitilebilir parametre içermektedir. BCCD

veriseti üzerinde gerçekleştirilen uygulamalarda %95,81 doğruluk elde ettiler. Özyurt [24] sınıflandırma için özellik çıkarıcı olarak önceden eğitilmiş mimariler, yani AlexNet, VGG-16, GoogleNet ve ResNet'i kullandı. Bu mimarilerin son tamamen bağlantılı katmanlarından elde edilen özellikler birleştirildi. Son olarak, ESA mimarilerinden elde edilen verimli özellikler aşırı öğrenen makine kullanılarak sınıflandırılmıştır. BCCD veriseti kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalarda %96,03 doğruluk bulunmuştur.

Yapılan literatür incelemesinden sonra beyaz kan hücre türlerinin sınıflandırılma problemi için hala iyi sınıflandırma sonuçlarının elde edileceği ESA tabanlı yöntemlerin geliştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca literatürde beyaz kan hücrelerinin sınıflandırılması için önerilen ESA tabanlı yöntemlerin eğitilebilir parametre sayıları hala çok yüksektir. Yukarıda belirtilen gerçekler, bizi bir ESA tabanlı yöntem kullanarak bir sınıflandırma tekniği tasarlamaya motive etmiştir.

3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu bölümde önerilen yöntemin teorik arkaplanını oluşturan evrişimsel sinir ağları, artık ağ mimarisi, sıkma-uyarma bloğu detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan veriseti ve önerilen yöntemde bu bölümde ele alınmıştır.

3.1. Evrişimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network)

Bir evrişimli sinir ağı (ESA), çeşitli görüntü işleme uygulamaları için uygun şekilde kullanılan bir derin öğrenme modelidir. Geleneksel görüntü sınıflandırma yöntemlerinden farklı olarak, derin öğrenme yöntemleri ön işleme ve özellik çıkarma adımlarını içermez. Bunun yerine katmanlı bir yapıya sahip olan ESA kullanılarak ön işleme ve özellik çıkarımı yapılmaktadır. Evrişim katmanı sayesinde görüntünün özellikleri elde edilmektedir. İlk katman giriş katmanı, son katman ise sınıflandırma katmanıdır. Ara katmanda evrişim katmanı, havuzlama katmanı, aktivasyon fonksiyonu ve tam bağlantılı katman (Fully connected-FC) katmanı bulunmaktadır.

Giriş katmanı, dört tür beyaz kan hücresini sınıflandırmak için giriş görüntülerini yüklemektedir. Görüntüler, her piksel için genişlik, yükseklik ve RGB kanalı gibi üç ana özellikten oluşmaktadır. Beyaz kan hücresi görüntü örneklerinin renkli görüntüsü 240x320x3 boyutundadır.

Evrişimli katman, ESA mimarisinin merkezi parçasıdır. Önceki katmandan sonraki katmana bağlanan nöronları kullanarak girdi verilerini değiştirmektedir. Ayrıca giriş katmanındaki nöronların küçük kısmı ve ağırlıkları arasındaki çarpımı hesaplar. Evrişimsel katmanda gerçekleştirilen işlem, ESA'nın özellik algılayıcısı olarak bilinmektedir. Özellik algılayıcı, giriş katmanı, çekirdek ve evrişimli özellikler olmak üzere üç ana öğeden oluşmaktadır. Çekirdek, yeni evrişimli özellikler (çıkı) üretmek için giriş kan hücresi görüntüleri boyunca

kaydırılır. Çekirdek, kendi sınırları içindeki girdi veri değerleri ile çarpılan çıktıyı birer birer üretir. Evrişimsel katmandaki ağırlıklar kümesine filtre denir. Bu filtre girdi ile evrişim işlemine tabi tutulur ve özellik haritası oluşturulur. Evrişimli katmanların ana bileşenleri ve parametreleri filtreler, aktivasyon özellikli haritalar, parametre paylaşımı, hiperparametre, adım (stride) ve dolgudur (padding). Evrişim katmanındaki çıktı görüntüsünün ve diğer parametrelerin boyutu aşağıdaki gibi tahmin edilir.

$$O_c = \frac{I_c - K_c + 2P}{S} + 1 \quad (1)$$

$$P_c = K_c^2 \times C_c \times N + B \quad (2)$$

Denklem (1)'de, O_c çıktı görüntü boyutunu, I_c giriş görüntü boyutunu, K_c evrişim katmanında kullanılan çekirdeğin boyutunu, P evrişim katmanındaki dolguyu ve S evrişim işleminin adımını belirtmektedir. Denklem (2)'de, P_c evrişim katmanının farklı parametrelerini belirler. C_c giriş görüntüsünün kanal sayısıdır. N çekirdek sayısı ve B evrişim katmanının bias değeridir. Evrişim katmanında, her bir çekirdeğin derinliği giriş görüntüsündeki kanal sayısı kadardır. Yani, kullanılan her çekirdeğin $K_c^2 \times C_c$ parametresi vardır ve bu tür N tane çekirdek vardır [7].

Doğrultulmuş doğrusal birim (Rectified Linear Unit-ReLU), evrişim katmanından sonra uygulanan bir aktivasyon katmanıdır. Bu katman özellikle ağda düzensizliği ortaya çıkarır. Daha önce, tanh ve sigmoid işlevi gibi doğrusal olmayan işlevler uygulanıyordu. Ancak, son zamanlarda ReLU, derin sinir ağlarına dayalı olarak geliştirilen modellerde en sık kullanılan aktivasyon fonksiyonu olmuştur. Sık kullanılması en büyük nedeni ise, ağın doğruluğunu bozmadan eğitimi hızlandırmasına olanak tanımasıdır. Bu fonksiyonda, x 'in değeri sıfırdan büyükse x 'in çıktısı, x 'in değeri sıfırdan küçük veya ona eşitse çıktısı sıfırdır. ReLU doğrusal olmayan işlevini kullanmanın temel avantajı, sıfırdan büyük tüm girdiler için sabit bir türevi olmasıdır. Bu sabit türev, ağ öğrenimini hızlandırır. ReLU Denklem (3)'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ x & x > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Havuzlama katmanı, evrişimli katmanların hemen arasına yerleştirilir. Uygulanan görüntülerin boyutunu azaltmak için evrişimli katmanı, aşırı öğrenme sorunlarını kontrol etmeye ve böylece hesaplama maliyetini düşürmeye yardımcı olan havuzlama katmanı takip etmelidir. Havuzlama katmanları, maksimum havuzlama ve ortalama havuzlama olmak üzere iki tiptir. İşlemin çoğu, 2×2 filtre adımıyla maksimum havuzlamayı kullanır. Bu katman aynı zamanda aşağı örnekleme katmanı olarak da bilinir. Havuzlama, sabit fonksiyon hesaplama özellikleriyle iyi tanımlandığı için parametreleri içermez.

Tamamen bağlı katman, ağın istenen çıktısına yol açacak nihai sınıflandırmayı hesaplamaktadır. Bu katmandan önce

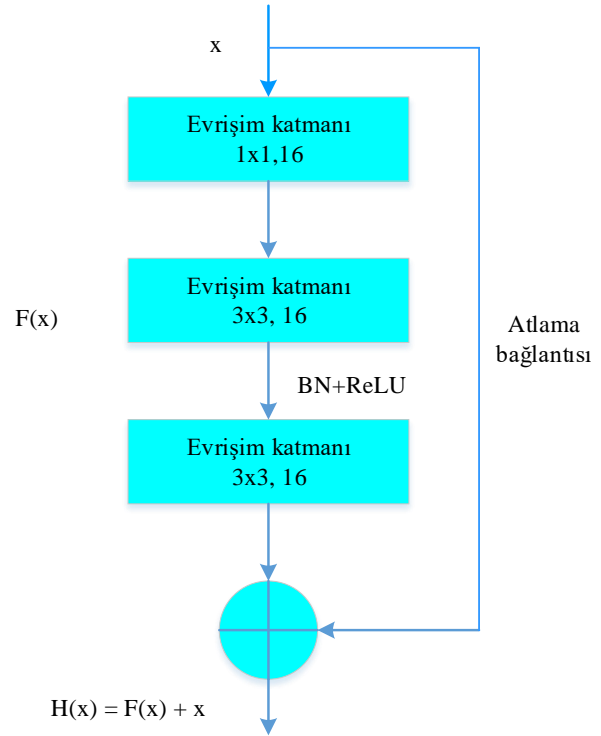
düzleştirme katmanı, ReLU aktivasyon katmanı ile birlikte ilerleyen evrişim ve havuzlama katmanı sonucunda elde edilen çıktıyı dikkate alır ve aynı anda N boyutlu vektör üretir. Tamamen bağlı bir katmandaki her bir nöron ise, bir önceki katmandaki tüm nöronlarla bağlantı kurar ve çıktı değerini sınıflandırıcıya gönderir. Daha sonra, softmax sınıflandırıcı tipik olarak kan hücresi örnek görüntülerinin kesin bir etikete uygun şekilde olasılığını tahmin etmek için kullanılır. Derin öğrenme mimarilerine dayanan softmax sınıflandırıcı ESA'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sınıflandırıcı, her sınıf için 0-1 arasında olasılıksal değerler üretir. Sonuç olarak en yüksek olasılık değeri model tarafından tahmin edilen sınıfı verir [25].

3.2. Artık Ağ ve Sıkma-Uyarma (SU) Bloğu (Residual Network and Squeeze-Excitation (SE) Block)

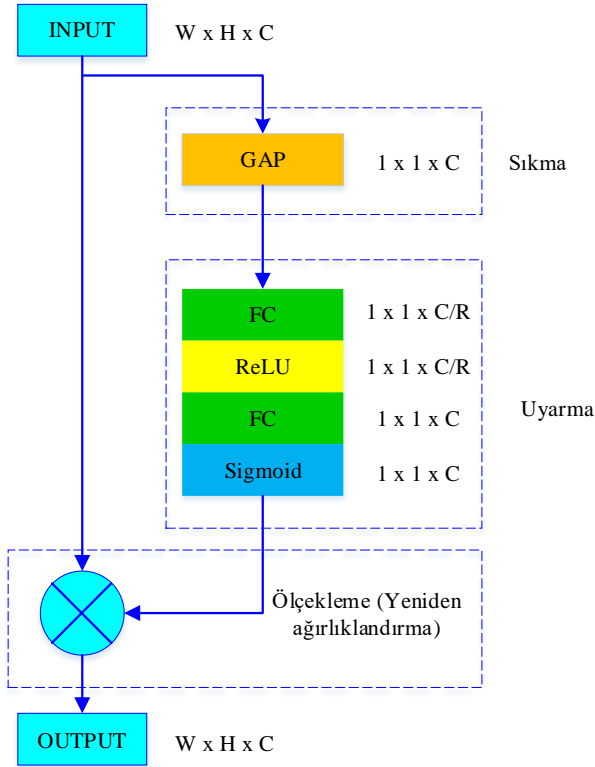
Evrişimli bir ağ oluştururken, ağın derinliği ne kadar yüksek olursa, çıkarılabilecek özellik hiyerarşisi o kadar zengin olur. Ancak, daha yüksek seviyeli özellikler elde etmek için daha derin ağ yapılarını kullanırken, gradyan kaybolması ve ağ bozulması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunları çözebilmek için artık ağ mimarisi geliştirilmiştir. Artık ağ mimarisinin en önemli avantajlarından biri, kimlik eşleme yolu bağlantıları aracılığıyla gradyan kaybolması sorununu çözmesidir. Çok sayıda gizli katmana sahip ağlar için, birkaç hesaplama katmanından sonra, gradyanları kademeli olarak 0'a düşecek ve ağırlıkların güncellenemeyeceği gerçeğiyle sonuçlanacaktır. Artık ağ bu sorunu bir kısayol atlama bağlantısı ile çözmektedir. Atlama bağlantısı, aradaki bazı katmanları atlayarak bir katmanın aktivasyonlarını diğer katmanlara bağlar. Diğer bir ifadeyle, girdinin çıktıya bağlanmasıdır. Atlama bağlantısına aynı zamanda kimlik eşlemede denilmektedir. Bu artık bir blok oluşturur. Artık ağlar, bu artık blokların bir araya getirilmesiyle elde edilir. Artık ağların arkasındaki temel fikir, optimize edilecek genel bir $H(x)$ amaç fonksiyonunu artık değeriyle, yani $F(x) = H(x) - x$ ile değiştirmektir. Böylece orijinal fonksiyon, basitçe girişi geri ekleyerek artık bloğun çıktısını yani; $H(x) = F(x) + x$ elde edilir (Şekil 1). Böylece çıktı katmanına girdi verileri eklenerek geçmiş katmana ait verilerin ileri katmanlara etkin bir şekilde iletilmesi amaçlanmaktadır [26]. Artık blok, 1x1 evrişim katmanları, 3x3 evrişim katmanları, yığın normalleştirme (BN-Batch normalization) katmanları ve ReLU aktivasyon katmanlarını içermektedir.

Sıkma-Uyarma (SU) bloğu [27], ağın bilgilendirici özellikleri seçerek öğrenebildiği ve yararsız olanları kaldırebildiği, kanal bazlı bir dikkat mekanizmasıdır. SU, önemli özellikleri iyileştirmek ve daha az faydalı olan özellikleri devre dışı bırakmak için özellik yeniden kalibrasyonunu gerçekleştirir. Bu blok, belirli ağ yapısının ağ modülünden bağımsızdır ve hesaplama maliyetinde yalnızca küçük bir artışla mevcut ESA ağ modeline gömülebilir, böylece ağ modelinin ağ eğitim performansını geliştirir ve ağın verimliliğini artırır. Şekil 2'de gösterildiği gibi, SU bloğu temel olarak sıkma ve uyarma olmak üzere iki alt modül içerir. Belirli bir girdi ($W \times H \times$

C) için, bir kanal tanımlayıcısı elde etmek için önce Sıkma işleminden, yani bir küresel ortalama havuzlamadan (Global Average Pooling-GAP) geçirilir. Burada her kanal için özellik haritaları, GAP gibi bir kanal tanımlayıcı işlevi kullanılarak 1 x 1 özellik haritalarına sıkıştırılır. Bu aşama, kanal hakkında genel bilgileri içeren bir skaler değer üretir. Sıkma işleminin amacı, küresel bir alıcı alana sahip olmaktır, böylece ağın alt katmanları da küresel bilgiyi kullanabilir [28]. Ardından, uyarma aşamasında, sıkma aşamasında toplanan kanal tanımlayıcıları kullanılarak kanal bazlı bağımlılıklar incelenir. Bu işlemin amacı, her bir özellik kanalının ağırlığını oluşturmak için parametreleri öğrenerek özellik kanalları arasındaki karşılıklı bağımlılığı modellemektir [28]. Bu, tamamen bağlantılı (Fully connected-FC) katmanlar ve doğrusal olmayan işlevler kullanılarak gerçekleştirilebilir. İlk FC katmanından sonra özellik haritalarının boyutu C'den C/R'ye (R boyutluluk azaltma oranı) değişir. Bundan sonra, ağı daha doğrusal olmayan hale getirmek için ReLU aktivasyon işlevi kullanılır, bu da kanallar arasındaki karmaşık korelasyona daha iyi uyum sağlayabilir. Daha sonra başka bir FC katmanı aracılığıyla özellik boyutları geri yüklenir ve Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile 0 ve 1 arasındaki normalleştirilmiş ağırlıklar elde edilir. Son olarak, normalleştirilmiş ağırlıklar, ölçek işlemiyle her bir kanal özelliği için yeniden ağırlıklandırılır [29]. Nihai ölçek işlemi, $W \times H \times C$ çıktısına dönüşür. Giriş ve çıkış şekli aynıdır, ancak her konumdaki değerler yeniden kalibre edilir.



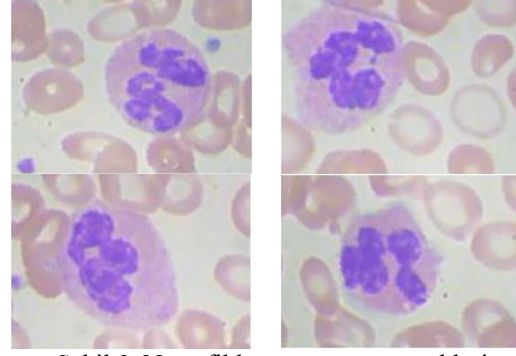
Şekil 1. Artık blok mimarisi (Architecture of residual block)



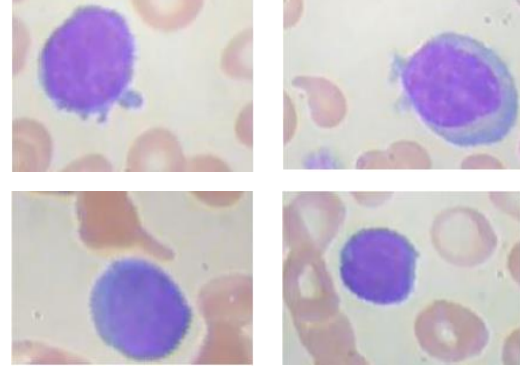
Şekil 2. Sıkma-uyarma blok yapısı
(Squeeze-excitation block structure)

3.3. Veriseti (Dataset)

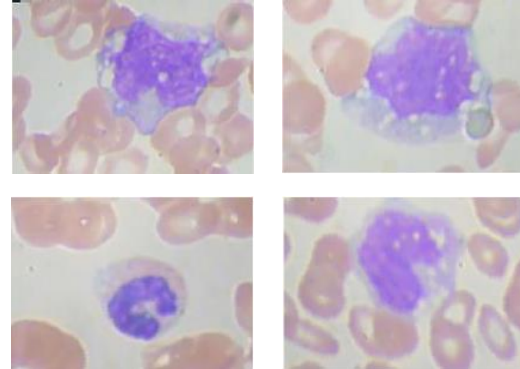
Bu çalışmada, önerilen modelin sınıflandırma performansını test etmek için dört yaygın beyaz kan hücresi türü kullanılmıştır. Spesifik olarak nötrofiller, lenfositler, monositler ve eozinofiller kullanılır, çünkü bunların mikroskopik görüntüleri (Dataset 2-master) genel olarak iki kısımda sağlanır: eğitim ve test [30]. Eğitim görüntüleri için 2497 eozinofil, 2483 lenfosit, 2478 monosit ve 2499 nötrofil ve test görüntüleri için eozinofil için 623, lenfositler için 620, monositler için 620 ve nötrofil için 624 dahil olmak üzere toplam 12444 mikroskopik beyaz kan hücre görüntüsünden oluşur. Tüm görseller $320 \times 240 \times 3$ boyutunda ve JPEG formatındadır. Her beyaz kan hücresi türü, insan vücudundaki uzamsal karakterlere ve benzersiz bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, aşağıda kısa bir açıklama verilmiştir. Nötrofiller: Nötrofillerin üç ile dört loblu bir çekirdeği ve pembe-kumlu, granüler bir sitoplazması vardır. Şekil 3, nötrofil hücre örneklerini göstermektedir. Lenfositler: Lenfositler, yoğun şekilde boyanmış, yoğunlaştırılmış küresel ve tek parça bir çekirdeğe ve küçük bir mavi sitoplazma kenarına sahip küçük hücrelerdir. Örnek görüntüler Şekil 4'te gösterilmiştir. Monositler: Monositler, normal bir periferik (bir bölgenin ya da alanın çeperi) kan yaymasında gözlemlenen en büyük beyaz kan hücreleridir. Genellikle vakuollerle dolu grimsi mavi bir sitoplazmaya ve ayırt edici bir katlanmış çekirdeğe sahiptirler. Örnekler, Şekil 5'te verilmiştir. Eozinofiller: Sitoplazmadaki turuncu granülleri ve karakteristik iki loblu çekirdeği ile tanınırlar. Eozinofil hücrelerinin örnekleri Şekil 6'da verilmiştir.



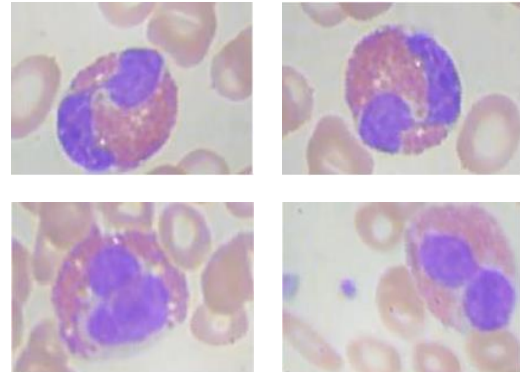
Şekil 3. Nötrofil hücre görüntü örnekleri
(Examples of Neutrophil cell images)



Şekil 4. Lenfosit hücre görüntü örnekleri
(Examples of Lymphocytes cell images)



Şekil 5. Monosit hücre görüntü örnekleri
(Examples of Monocytes cell images)



Şekil 6. Eozinofil hücre görüntü örnekleri
(Examples of Eosinophils cell images)

3.4. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Bu çalışmada, Kan Hücre Sayımı ve Tespiti (Blood Cell Count and Detection - BCCD) [30] veri setinden elde edilen kan yayması görüntülerinde beyaz kan hücre türünü sınıflandırmak için derin öğrenme tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem Şekil 7’de gösterildiği gibi Sıkma-uyarma bloğu ile artık ağ (SU-AA) mimarisinin birleşiminden oluşmaktadır. Bu yöntemde ağ mimarisinin girişine verilen görüntüye 3 defa ard arda SU-AA uygulanmaktadır. Şekil 7’de görüldüğü gibi SU-AA yönteminde artık blok içerisinde 2B Evrişimler, BN, ReLU, SU bloğu ve atlama bağlantısı yer almaktadır. Önerilen yöntemde artık blok içerisinde, öncelikle girdi görüntüsüne 1x1 çekirdek boyutunda 16 filtreden ve 3x3 çekirdek boyutunda 16 filtreden oluşan 2B evrişim işlemleri uygulanmaktadır. Evrişim işlemi ile girdi görüntüsü üzerinde belirli bir adım değerine göre kayarak özellikler otomatik olarak öğrenilir. Evrişim işlemi, özellik haritalarıyla sonuçlanır. Bu iki evrişim işleminden sonra elde edilen özellik haritasına, eğitim sürecini düzenlemek ve hızlandırmak için BN uygulanır. Ardından elde edilen çıktı ReLU aktivasyon fonksiyonundan geçirilmektedir. ReLU, ESA’da en sık kullanılan aktivasyon fonksiyonu olduğundan dolayı kullanılmaktadır. Eğitim için gradyan iniş teknikleri kullanıldığında ReLU, diğer aktivasyon fonksiyonlarından daha hızlıdır. ReLU’dan sonra elde edilen özellik haritasına 3x3 çekirdek boyutunda ve 16 filtreden oluşan yeni bir 2B evrişim işlemi uygulanmakta ve elde edilen çıktı SU bloğunun girişine verilmektedir. SU, artık ağlarla birleştiğinde, sistem maliyetini çok az artırarak artık ağların sınıflandırma performansını arttırmaktadır. SU bloğunun yapısı Şekil 2’de gösterilmektedir. SU bloğunun çıktısına artık bloklarda kullanılan atlama bağlantıları sayesinde girdi eklenerek elde edilen özellik haritasına sırasıyla BN, ReLU ve maksimum havuzlama uygulanmaktadır. Maksimum havuzlama katmanının görevi aşağı örneklemedir. Hesaplama maliyetini arttırmadan gereksiz özellikleri ve özellik haritasının boyutunu azaltır. Bu çalışmada, MaxPooling2D katmanında, özellik haritasının boyutunu yarıya indirmek için filtre boyutu 2’dir ve adım (stride) 2’dir. Bu işlemler ard arda 3 defa gerçekleştirilmektedir. Tüm bu işlemlerin ardından elde edilen özellik haritasına aşırı öğrenmeyi önlemek için ağda 0,25 oranında bırakma (dropout) katmanı uygulanmaktadır. Bırakma oranı (dropout rate), uygulamalara ve sonuçların optimalliğine göre seçilir. Bırakma katmanından sonra küresel ortalama havuzlama katmanı (Global average pooling-GAP) uygulanmaktadır. GAP, klasik ESA’larda tamamen bağlı katmanları değiştirmek için tasarlanmış bir havuzlama işlemidir. GAP ile son katmandaki sınıflandırma görevinin karşılık gelen her kategorisi için bir özellik haritası oluşturulmaktadır. Özellik haritalarının üstüne tamamen bağlı katmanlar eklemek yerine, her bir özellik haritasının ortalaması alınmakta ve elde edilen vektör doğrudan softmax katmanına aktarılmaktadır. Ayrıca önerilen yöntemde GAP kullanımının avantajı, global ortalama havuzlamada optimize edilecek bir parametre olmaması ve dolayısıyla bu katmanda aşırı öğrenmenin önlenmesidir. GAP’ın çıktısı, özellikleri sınıflandırmak ve beyaz kan hücre türünü tahmin etmek için bir softmax fonksiyonuna

verilir. Softmax, her sınıfa olasılıklar atar ve bu olasılıkların toplamı bire eşit olur. Önerilen yöntem ile ilgili detaylı bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde önerilen yöntem ile elde edilen toplam parametre sayısı 106,356’dır. Toplam eğitilebilir parametre sayısı 105,908’dir. Ayrıca önerilen modelin keras kütüphanesinin Keras Visualization özelliği kullanılarak şematik olarak gösterimi Şekil 8-10’da gösterilmiştir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Bu bölümde deneylerde kullanılan hiperparametrelerin ayarları ve deneysel sonuçlar yer almaktadır.

4.1. Hiperparametre Ayarları (Hyperparameter Settings)

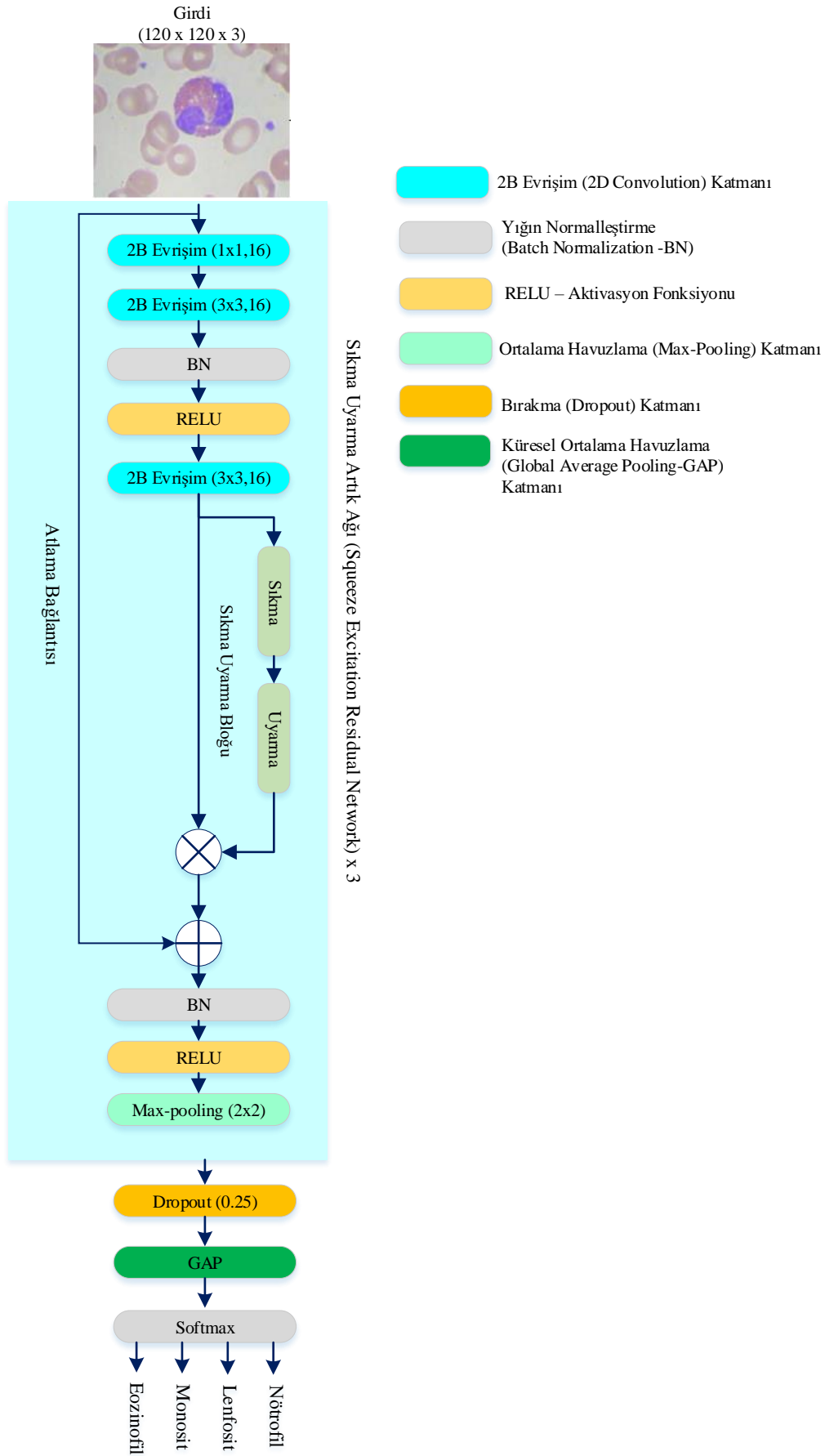
Tüm uygulamalar için python programlama dili kullanılmıştır. Python kodları Kaggle notebook’ta yazılmıştır. Veri setindeki tüm görüntüler 120x120x3 boyutuna dönüştürülmüştür. Ayrıca verisetinde (Dataset 2-master) bulunan tüm beyaz kan hücre görüntüleri karıştırılmıştır. Ardından karıştırılan bu görüntüler eğitim (train) için %80, doğrulama (validation) için %10 ve test için %10 alınarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Yani 12444 görüntüden eğitim örneği sayısı olarak 9955, doğrulama örneği sayısı olarak 1245 ve test örneği sayısı olarak 1244 görüntü alınmıştır. Görüntüler RGB oldukları için derin öğrenme mimarisinin girişine 120x120x3 boyutuna sahip görüntüler verilmiştir. Önerilen yöntem, 32 batch size, 50 epoch’ta ve adam optimizer kullanılarak eğitilmiştir. Hiperparametrelere ek olarak, eğitim sürecini optimize etmek için üç özel geri arama (callback) kullanıyoruz. İlk geri arama, doğrulama kaybı iyileşmeyi durdurduğunda öğrenme oranını azaltmak için kullanılan ReduceLROnPlateau geri aramasıdır. Bu, aşırı uyumdan kaçınmaya ve eğitim sürecini stabilize etmeye yardımcı olur. Bu geri aramada öğrenme oranının alt sınırı (min_learning_rate) olarak 0,000001 alınmıştır. Ayrıca öğrenme oranının azaltılacağı faktör değeri olarak 0,3’tür. İkinci geri arama, eğitim sırasında belirli aralıklarla model ağırlıklarını kaydetmek için kullanılan ModelCheckpoint geri aramasıdır. Bu, doğrulama doğruluğuna dayalı olarak en iyi modeli kaydetmemize ve ileride kullanmak üzere yüklememize olanak tanır. Üçüncü geri arama ise, EarlyStopping (erken durdurma)’dır. Erken durdurma, model doğruluğundan ödün vermeden fazla uydurmaya azaltmak için kullanılan bir optimizasyon tekniğidir. Erken durdurmanın ardındaki ana fikir, bir model aşırı uyum sağlamaya başlamadan önce eğitimi durdurmaktır. Bu geri aramada, eğitimin durdurulacağı, iyileşme olmayan dönemlerin sayısı (patience değeri) 10 alınmıştır. Önerilen yöntemin sınıflandırma performansını değerlendirmek için karışıklık matrisi ve karışıklık matrisinden elde edilen sınıflandırma değerlendirme ölçütleri kullanılmaktadır. Bu değerlendirme ölçütleri, doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorudur (F1-score). Bu ölçütler şu şekildedir. Bir karışıklık matrisi Gerçek Pozitif (True Positive-TP), Gerçek Negatif (True Negative-TN), Yanlış Negatif (False Negative-FN) ve Yanlış Pozitif

(False Positive-FP) değerlerinden oluşur. Bu çalışmada TP, sınıflandırıcı belirli bir beyaz kan hücresinin sınıfını doğru tahmin ettiğinde gerçekleşir. TN, sınıflandırıcı bir hücre görüntüsünün belirli bir beyaz kan hücresi sınıfına ait olmadığını teşhis ettiğinde gerçekleşir. FP, sınıflandırıcı negatif örneği yanlış bir şekilde pozitif olarak tahmin ettiğinde gerçekleşir. FN, sınıflandırıcı pozitif örneği yanlış bir şekilde negatif olarak tahmin ettiğinde gerçekleşir. Önerilen yöntemin karışıklık matrisi Şekil 11’de verilmiştir. Şekil 11’deki karışıklık matrisi dikkate

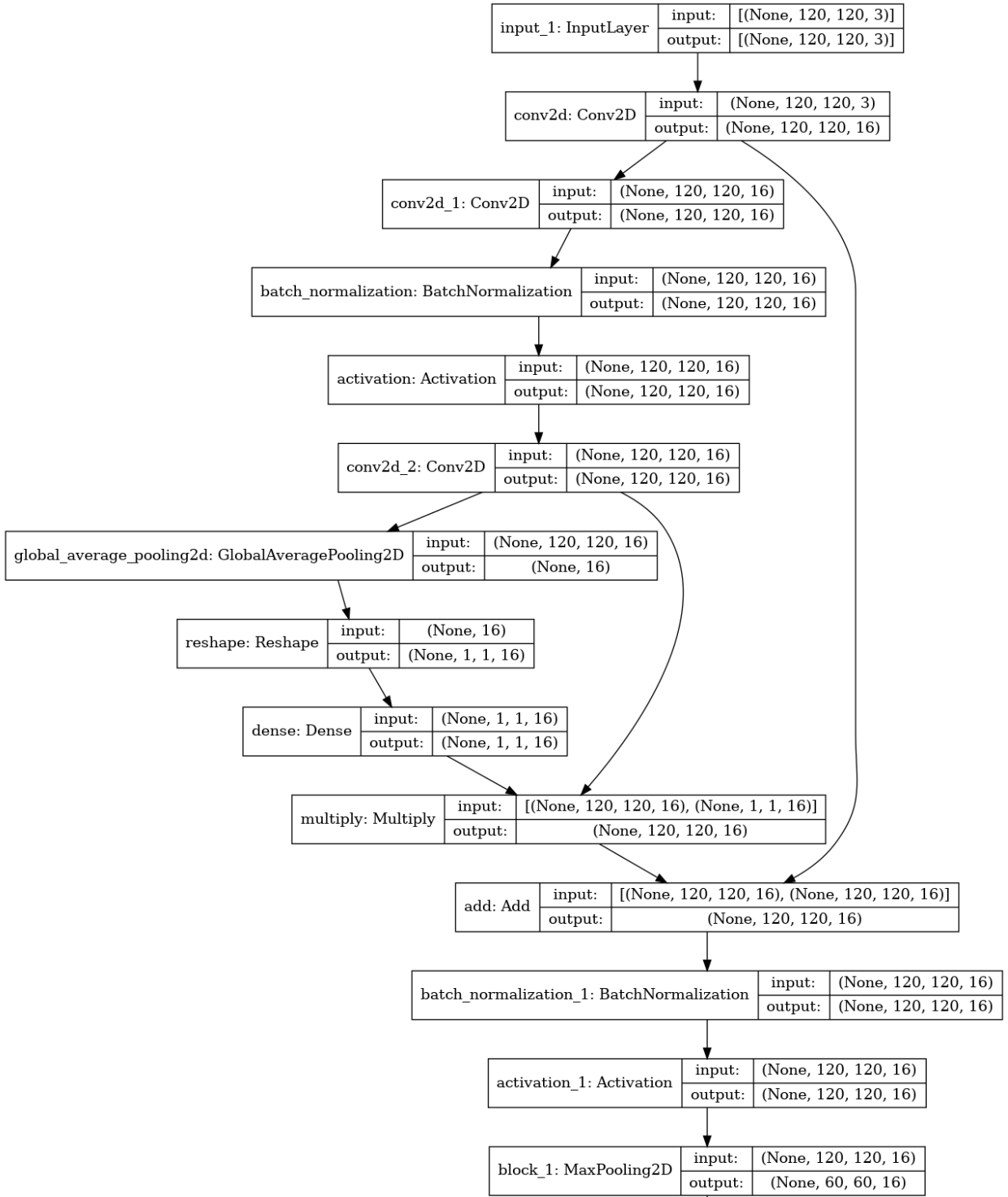
alındığında, 327 görüntüden 326 eozinofil görüntüsünün doğru şekilde tahmin edildiğini, 298 lenfosit görüntüsünün tamamının ve 316 monosit görüntüsünün tamamının başarıyla tahmin edildiğini ve 303 görüntüden 303 nötrofil görüntüsünün doğru şekilde tahmin edildiğini göstermektedir. Her beyaz kan hücresi türüne göre doğru şekilde sınıflandırılan test örneklerinin sayısının toplam test örnekleri sayısına oranı, doğrulukla (accuracy) gösterilir ve Denklem (4)’teki gibi hesaplanır.

Tablo 1. Önerilen yöntem ile ilgili detaylı bilgiler
(Detailed information about the proposed method)

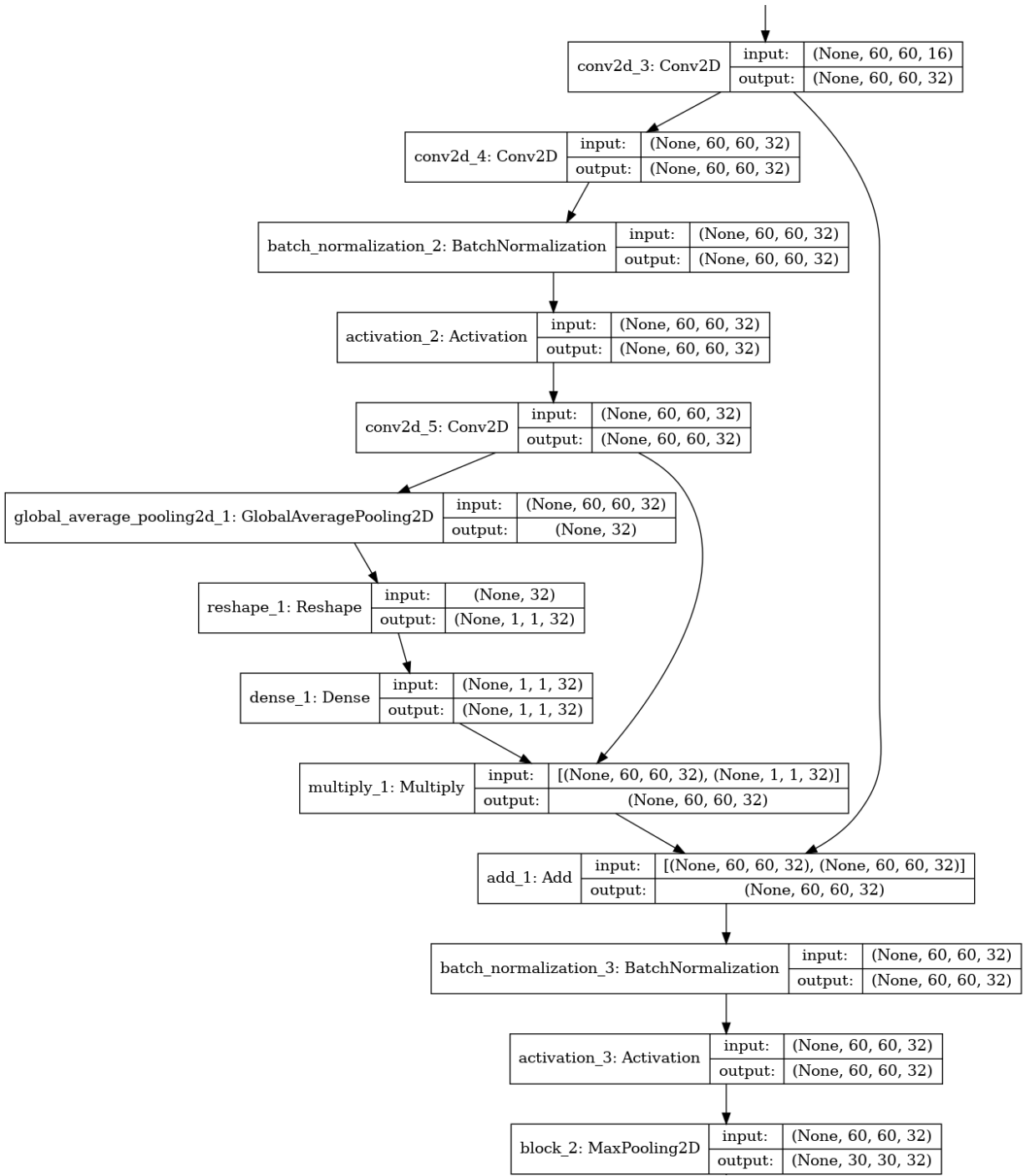
Katman	Çıktı Boyutu	Parametre Sayısı	Bağlı olunan Katman
Input	120x120x3	0	-
Conv2D_1	120x120x16	64	Input
Conv2D_2	120x120x16	2320	Conv2D_1
BN	120x120x16	64	Conv2D_2
Activation (ReLU)	120x120x16	0	BN
Conv2D_3	120x120x16	2320	Activation (ReLU)
Global Average Pooling	16	0	Conv2D_3
Reshape	1x1x16	0	Global Average Pooling
Dense	1x1x16	272	Reshape
Multiply	120x120x16	0	Conv2D_3, Dense
Add	120x120x16	0	Conv2D_1, Multiply
BN_1	120x120x16	64	Add
Activation_1	120x120x16	0	BN_1
MaxPooling2D	60x60x16	0	Activation_1
Conv2D_4	60x60x32	544	MaxPooling2D
Conv2D_5	60x60x32	9248	Conv2D_4
BN_2	60x60x32	128	Conv2D_5
Activation_2	60x60x32	0	BN_2
Conv2D_6	60x60x32	9248	Activation_2
Global Average Pooling_1	32	0	Conv2D_6
Reshape_1	1x1x32	0	Global Average Pooling_1
Dense_1	1x1x32	1056	Reshape_1
Multiply_1	60x60x32	0	Conv2D_6, Dense_1
Add_1	60x60x32	0	Conv2D_4, Multiply_1
BN_2	60x60x32	128	Add_1
Activation_3	60x60x32	0	BN_2
MaxPooling2D_1	30x30x32	0	Activation_3
Conv2D_7	30x30x64	2112	MaxPooling2D_1
Conv2D_8	30x30x64	36928	Conv2D_7
BN_3	30x30x64	256	Conv2D_8
Activation_4	30x30x64	0	BN_3
Conv2D_9	30x30x64	36928	Activation_4
Global Average Pooling_2	64	0	Conv2D_9
Reshape_2	1x1x64	0	Global Average Pooling_2
Dense_2	1x1x64	4160	Reshape_2
Multiply_2	30x30x64	0	Conv2D_9, Dense_2
Add_2	30x30x64	0	Conv2D_7, Multiply_2
Activation_5	30x30x64	0	Add_2
BN_4	30x30x64	256	Activation_5
Dropout	30x30x64	0	BN_4
Global Average Pooling_3	64	0	Dropout
Dense_3	4	260	Global Average Pooling_3
Toplam parametre sayısı		106,356	
Eğitilebilir parametre sayısı		105,908	
Eğitilemeyen parametre sayısı		448	



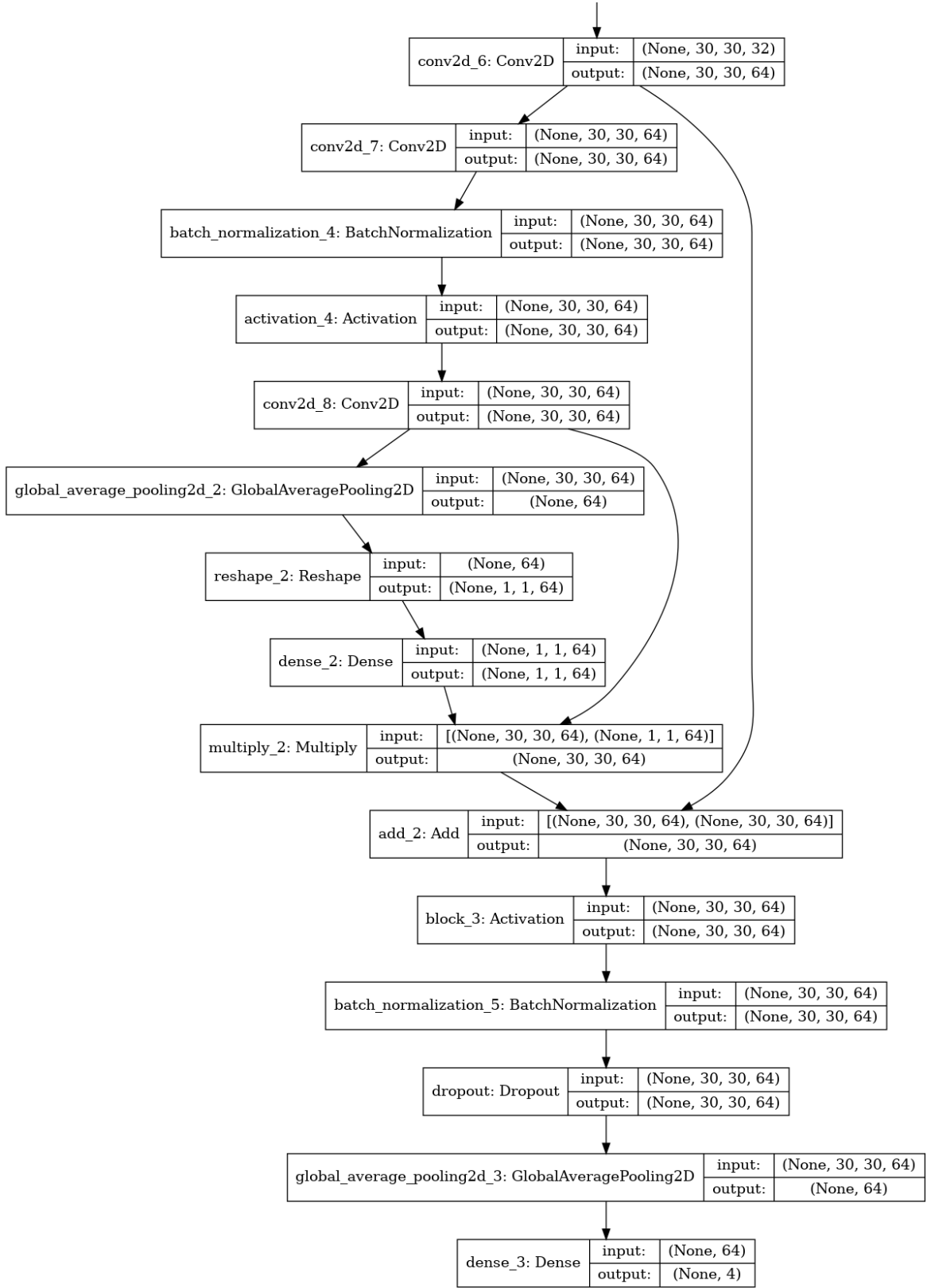
Şekil 7. Beyaz kan hücresi sınıflandırması için önerilen yöntem mimarisi
(Proposed method architecture for white blood cell classification)



Şekil 8. Önerilen modelin şematik olarak gösterimi
(Schematic representation of the proposed model)



Şekil 9. Önerilen modelin şematik olarak gösterimi (Devamı)
(Schematic representation of the proposed model- Continued)



Şekil 10. Önerilen modelin şematik olarak gösterimi (Devamı)
(Schematic representation of the proposed model- Continued)

$$\text{Doğruluk (Accuracy)} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (4)$$

Her bir beyaz kan hücresi türü tarafından doğru bir şekilde sınıflandırılan pozitif örneklerin sayısının gerçek gözlenen pozitif örneklerin sayısına oranı, duyarlılık (recall) ile belirtilir ve Denklem (5)'teki gibi hesaplanır.

$$\text{Duyarlılık (Recall)} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

Her bir beyaz kan hücresi türü tarafından doğru şekilde sınıflandırılan pozitif örneklerin sayısı ile pozitif örnekler olarak sınıflandırılan örneklerin sayısı Kesinlik tarafından belirlenir ve Denklem (6)'daki gibi hesaplanır.

$$\text{Kesinlik (Precision)} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (6)$$

F1-skor, kesinlik ve duyarlılık oranının harmonik ortalamasına karşılık gelir. F1-skoru, 0-1 arasında bir değer alır, her bir beyaz kan hücre sınıflandırma modelinin daha iyi performansı, daha yüksek bir F1-skoruna karşılık gelir ve Denklem (7)'deki gibi hesaplanır.

$$\text{F1 - skor} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (7)$$

Eozinofil	326	0	0	1
Lenfosit	0	298	0	0
Monosit	0	0	316	0
Nötrofil	0	0	0	303
	Eozinofil	Lenfosit	Monosit	Nötrofil

Şekil 11. Önerilen yöntemin karışıklık matrisi
(Confusion matrix of the proposed method)

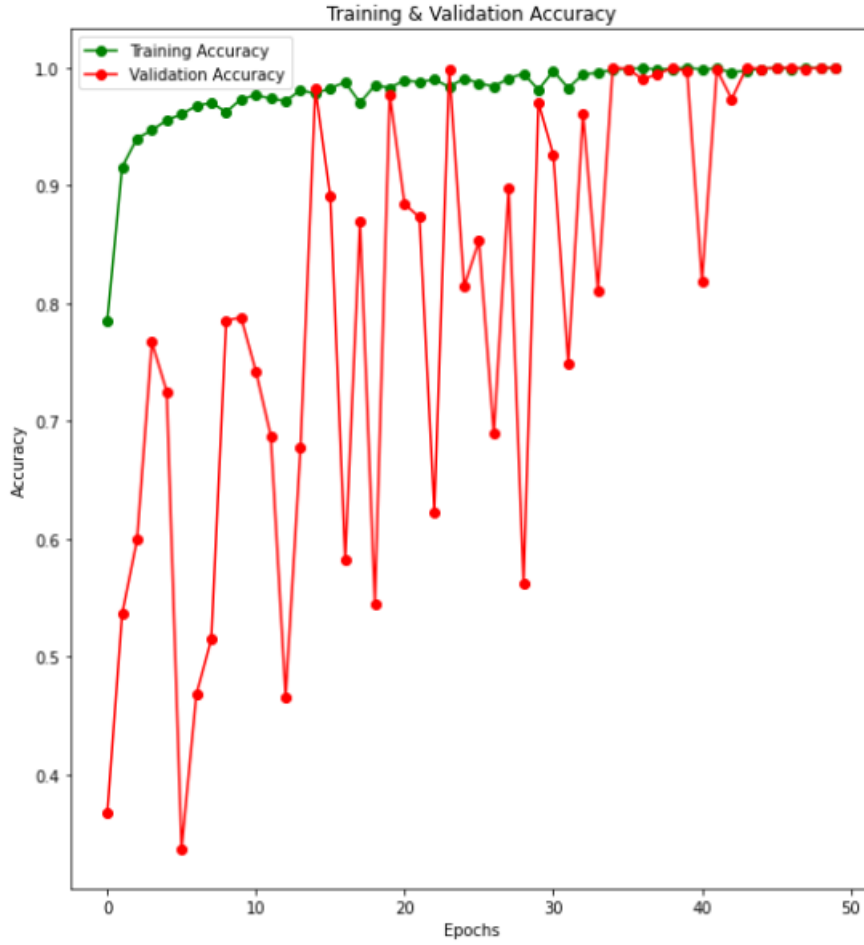
4.2. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Karışıklık matrisine göre önerilen yöntemin her bir beyaz kan hücresi türüne göre doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde Lenfosit ve Monosit görüntülerinin %100, Eozinofil ve Nötrofil görüntülerinin %99,92 doğru

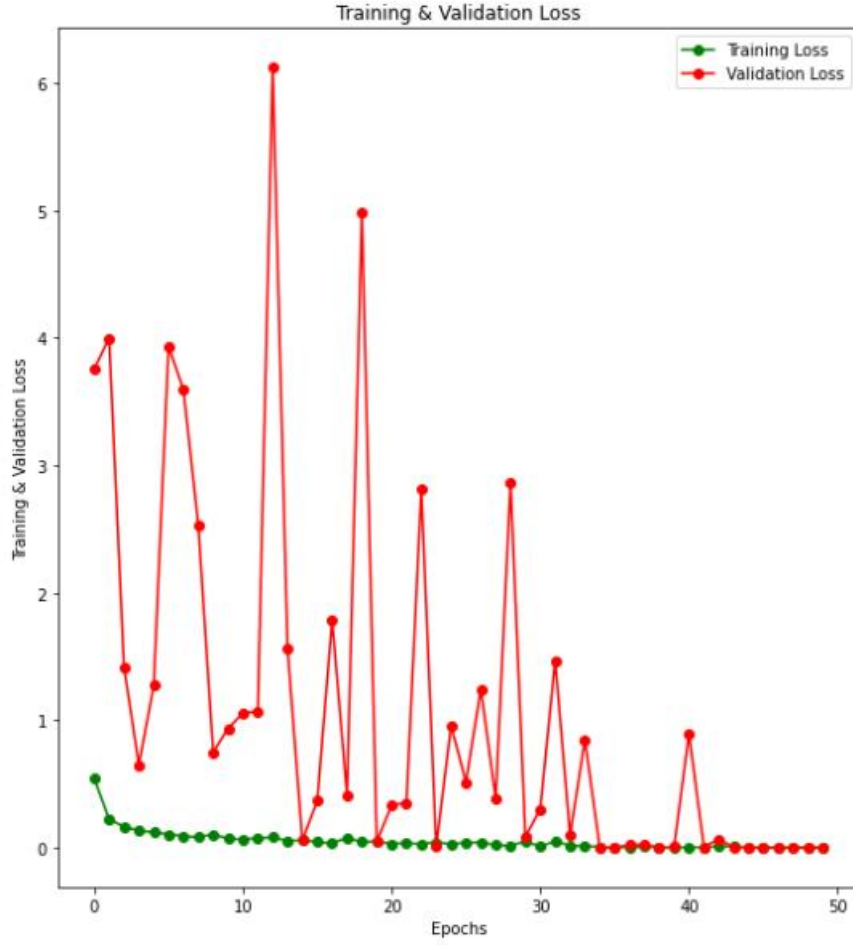
sınıflandırıldıkları görülmektedir. Dört hücre türünden monosit ve lenfositler en yüksek doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor değerine sahiptir. Bu dört hücre türünün makro ortalama sınıflandırma doğruluk değeri %99,96, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor değeri %99,92'dir. Makro ortalama doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor değerleri sınıf başına tüm doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor değerlerinin aritmetik ortalaması kullanılarak hesaplanmaktadır. Önerilen görüntü sınıflandırma yönteminin sınıflandırma performansı, Tablo 3'te gösterildiği gibi doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor açısından son yıllardaki ESA tabanlı yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Tüm yöntemlerde her bir beyaz kan hücresi türü için hesaplanan değerlendirme ölçütlerinin ortalama değerleri alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Önerilen yöntem %99,96 doğruluk ve %99,92 kesinlik, duyarlılık, F1-skor değeri ile en iyi sınıflandırma performansına sahiptir. Önerilen yöntem en yakın sonuçlar %99,85 doğruluk, %99,75 kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru ile Çınar vd. [22] tarafından önerilen yöntemde elde edilmiştir. Diğer yöntemlerden önerilen yöntem en yakın sonuçlar sırasıyla %99,5 doğruluk, %99 kesinlik, duyarlılık ve F1-skoruna sahip Nahzat vd. [31] ile %99,12 doğruluk ve kesinlik değeri, %99,10 duyarlılık ve %99,11 F1-skoruna sahip Khan vd. [32] tarafından önerilen yöntemlerdir. En düşük sınıflandırma doğruluğu %90 doğruluk ve duyarlılık ile %91 kesinlik ve F1-skor değerine sahip Liang vd. [13] tarafından önerilen yöntemde elde edilmiştir. Tüm yöntemleri karşılaştırmak için kullanılan bir diğer parametre ise toplam eğitilebilir parametre sayısıdır. Tüm yöntemler dikkate alındığında önerilen yöntemin 105,908 ile en düşük parametre sayısına sahip olduğu görülmektedir. Sınıflandırma performansı açısından önerilen yöntem en yakın sonuç Çınar vd. [22], Nahzat vd. [31], Khan vd. [32] tarafından önerilen yöntemlerde elde edilmiştir. Bu yöntemlerin genelinde %99'dan daha yüksek doğruluk değerleri elde edildiği görülmektedir. Ancak bu yöntemlerin parametre sayıları sırasıyla 67 milyon, 1,494,628 ve 100 milyondur. Bununla birlikte, bu yöntemlerin daha fazla sayıda eğitilebilir parametreye sahip olduğu ve bunun da hesaplama maliyeti açısından bir dezavantaj olduğu belirtilmelidir. Önerilen yöntem ile elde edilen parametre sayısına en yakın 126,000 parametre ile Hosseini vd. [33] ve 133,000 parametre ile Banik vd. [34] yöntemlerinde elde edilmiştir. Ancak Tablo 3 dikkate alındığında bu yöntemlerin doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor değerleri önerilen yöntem ile elde edilen değerlerden düşüktür. Tablo 3'teki tüm değerler ele alındığında, önerilen yöntem düşük eğitilebilir parametre sayısına sahip olmakla birlikte en iyi sınıflandırma sonuçlarını elde etmiştir. Önerilen yöntemin beyaz kan hücre sınıflandırmasında ele alınan diğer derin öğrenme tabanlı yöntemlere kıyasla yalnızca daha iyi sınıflandırma doğruluğu değil, aynı zamanda daha iyi hesaplama verimliliği de sunduğu görülmektedir. Eğitim (train)-doğrulama (validation) doğruluğu Şekil 12'de ve eğitim-doğrulama kaybı (loss) 50 epoch için Şekil 13'de verilmiştir. Epoch değeri arttıkça, hem eğitim seti hem de doğrulama setindeki doğruluk değerleri artmaktadır. Eşzamanlı olarak, eğitim ve doğrulama kayıp eğrileri, epoch değeri arttıkça düşüş göstermektedir.

Tablo 2. Test setinde önerilen yöntemin performans ölçümleri
(Performance measures of proposed method on the test set)

Performans metrikleri	Eozinofil	Lenfosit	Monosit	Nötrofil	Makro Ortalama
TP	326	298	316	303	
TN	917	945	927	940	
FP	1	0	0	0	
FN	0	0	0	1	
Doğruluk (Accuracy)	%99,92	%100	%100	%99,92	%99,96
Kesinlik (Precision)	%99,69	%100	%100	%100	%99,92
Duyarlılık (Recall)	%100	%100	%100	%99,67	%99,92
F1-skor (F1-score)	%99,84	%100	%100	%99,83	%99,92



Şekil 12. Eğitim-doğrulama doğruluk eğrisi
(Training-validation accuracy curve)



Şekil 13. Eğitim-doğrulama kaybı eğrisi
(Training-validation loss curve)

Tablo 3. Beyaz Kan Hücresi sınıflandırma sonuçlarının en son yöntemlerle karşılaştırılması
(Comparison of White Blood Cell classification results with state-of-the-art methods)

Çalışma	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	F1-skor (%)	Parametre Sayısı
Patil vd. [7]	95,9	95,8	95,8	95,8	23x10 ⁶ (Xception)
Liang vd. [13]	90	91	90	91	59,621x10 ⁶
Cheuque vd. [15]	98,36	98,37	98,37	98,37	1,093,218
Yao vd. [16]	95,7	95,7	95,7	95,7	59,654,540
Baghel vd. [19]	98,9	97,59	97,70	97,63	519,860
Çınar vd. [22]	99,85	99,75	99,75	99,75	67x10 ⁶ (AlexNet+GoogleNet)
Ridoy vd. [23]	95,81	91,75	91,5	91,6	407,716
Baydilli vd. [35]	96,9	92,50	92,50	92,50	8,238,608
Nahzat vd. [31]	99,5	99	99	99	1,494,628
Banik vd. [34]	97,95	96,25	96	96,12	133,000
Banik vd. [36]	95,19	92,25	90,5	91,37	1,202,000
Hedge vd. [37]	98,7	99	99	99	60x10 ⁶ (AlexNet)
Khan vd. [32]	99,12	99,12	99,10	99,11	100x10 ⁶ (AlexNet+ELM)
Hosseini vd. [33]	97	95	94	95	126,000
Pang vd. [38]	94	91	88	89	27,215x10 ⁶
Kutlu vd. [39]	97	97	99	98	26x10 ⁶ (ResNet50)
Proposed Method	99,96	99,92	99,92	99,92	105,908

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Beyaz kan hücresi testi, kandaki beyaz kan hücrelerinin miktarı hakkında bilgi sağlamaktadır. Beyaz kan hücrelerinin sayısı normal aralığın dışındaysa, çeşitli hastalıkların ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. Bu hücre türlerinin görünüşleri arasındaki benzerlik nedeniyle insan gözü tarafından sınıflandırılması çok zordur. Son yıllarda bu görüntülerin sınıflandırılması için ESA tabanlı yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, kan görüntülerinde dört tür (eozinofil, lenfosit, monosit ve nötrofil) beyaz kan hücresini sınıflandırmak ve sınıflandırma performansını iyileştirmek için ESA tabanlı bir sınıflandırma tekniği önerilmiştir. Önerilen ESA tabanlı yöntem sıkma-uyarma bloğu ile artık ağırlık birleşiminden oluşan hibrit bir yöntemdir. Ağ derinleştikçe ortaya çıkan gradyan kaybolması ve ağ bozulmaları sorunlarını gidermek için artık ağırlık atlama bağlantıları kullanılmaktadır. Sıkma-uyarma bloğu ise ağırlık bilgilendirici özellikleri seçerek öğrenebildiği ve yararsız olanları kaldırebildiği bir yapı sunmaktadır. Bu blok neredeyse hiçbir ek işlem maliyeti gerektirmez. Sınıflandırma görevlerinde performans artırıcı özelliğinden dolayı herhangi bir modele kolay bir şekilde eklenebilmektedir. Son olarak önerilen yöntemde sınıflandırma katmanından önce tam bağlı katmanlar yerine global ortalama havuzlama katmanı kullanılmıştır. Bu katmanın kullanımının avantajı, optimize edilecek bir parametre olmaması ve dolayısıyla bu katmanda aşırı öğrenmenin önlenmesidir. Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için literatürde sıklıkla kullanılan Kan Hücresi Sayımı ve Tespiti (Blood Cell Count and Detection - BCCD) veriseti kullanılmıştır. Bu veriseti kullanılarak önerilen yöntem ile dört hücre türünün ortalaması alındığında %99,96 doğruluk ve %99,92 kesinlik, duyarlılık, F1-skor değerleri elde edilmiştir. Ayrıca beyaz kan hücre görüntü sınıflandırması için literatürde son yıllarda çalışılan ESA modellerinin performansları ile karşılaştırmalı bir bakış sunulmuştur. Hem literatür hem de elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, önerilen yöntemin dört tür beyaz kan hücre sınıflandırmasında diğer yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre önerilen yöntemin beyaz kan hücre sınıflandırması için beyaz kan hücre özelliklerini yüksek verimlilik ile doğru bir şekilde çıkarabildiğinden dolayı, klinik uygulamalar için alternatif bir yöntem olarak kullanılabilirliği sonucu çıkarılabilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda ise önerilen yöntemin diğer beyaz kan hücresi verisetlerine aktarılabilirliği araştırılacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Girdhar, H. Kapur, and V. Kumar, "Classification of White blood cell using Convolution Neural Network", *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103156, 2022.
- [2] W. Stock and R. Hoffman, "White blood cells I: Non-malignant disorders", *Lancet*, 355, 1351–1357, 2000.
- [3] A. Girdhar, H. Kapur, V. Kumar, M. Kaur, D. Singh, and R. Damasevicius, "Effect of COVID-19 outbreak on urban health and environment", *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14(3), 389–397, 2021.
- [4] W. L. Tai, R. M. Hu, H. C. W. Hsiao, R. M. Chen, and J. J. P. Tsai, "Blood cell image classification based on hierarchical SVM", *IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)*, California, USA, 129–136, 2011.
- [5] N. Ramesh, B. Dangott, M. E. Salama, and T. Tasdizen, "Isolation and two-step classification of normal white blood cells in peripheral blood smears", *Journal of Pathology Informatics*, 3(1), 13, 2012.
- [6] S. Vathavanavaro, S. Tungjitnob, and K. Pasupa, "White Blood Cell Classification: A Comparison between VGG-16 and ResNet-50 Models", *6th Joint Symposium on Computational Intelligence (JSCI6)*, Bangkok, Thailand, 2018.
- [7] A. M. Patil, M. D. Patil, and G. K. Birajdar, "White Blood Cells Image Classification Using Deep Learning with Canonical Correlation Analysis", *Irbm*, 42(5), 378–389, 2021.
- [8] F. Long, J. J. Peng, W. Song, X. Xia, and J. Sang, "BloodCaps: A capsule network based model for the multiclassification of human peripheral blood cells", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 202, 2021.
- [9] X. Zheng, Y. Wang, G. Wang, and J. Liu, "Fast and robust segmentation of white blood cell images by self-supervised learning", *Micron*, 107, 55–71, 2018.
- [10] D. M. U. Sabino, L. Da Fontoura Costa, E. G. Rizzatti, and M. A. Zago, "A texture approach to leukocyte recognition", *Real-Time Imaging*, 10(4), 205–216, 2004.
- [11] P. Ghosh, D. Bhattacharjee, and M. Nasipuri, "Blood smear analyzer for white blood cell counting: A hybrid microscopic image analyzing technique", *Applied Soft Computing Journal*, 46, 629–638, 2016.
- [12] B. Dayı, H. Üzen, İ. B. Çiçek, and Ş. B. Duman, "A Novel Deep Learning-Based Approach for Segmentation of Different Type Caries Lesions on Panoramic Radiographs", *Diagnostics*, 13(2), 202, 2023.
- [13] G. Liang, H. Hong, W. Xie, and L. Zheng, "Combining Convolutional Neural Network With Recursive Neural Network for Blood Cell Image Classification", *IEEE Access*, 6, 36188–36197, 2018.
- [14] A. Ekiz, "ESA ve Kon-DVM Modelleri Kullanarak Beyaz Kan Hücrelerinin Sınıflandırılması", *29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, İstanbul, Türkiye, 2021–2024, 9-11 June, 2021.

- [15] C. Cheuque, M. Querales, R. León, R. Salas, and R. Torres, “An Efficient Multi-Level Convolutional Neural Network Approach for White Blood Cells Classification”, *Diagnostics*, 12(2), 2022.
- [16] X. Yao, K. Sun, X. Bu, C. Zhao, and Y. Jin, “Classification of white blood cells using weighted optimized deformable convolutional neural networks”, *Artificial Cells, Nanomedicine Biotechnology*, 49(1), 147–155, 2021.
- [17] A. Khan, A. Eker, A. Chefranov, and H. Demirel, “White blood cell type identification using multi-layer convolutional features with an extreme-learning machine”, *Biomedical Signal Processing and Control*, 69, 102932, 2021.
- [18] Y. Ha, Z. Du, and J. Tian, “Fine-grained interactive attention learning for semi-supervised white blood cell classification”, *Biomedical Signal Processing and Control*, 75, 103611, 2022.
- [19] N. Baghel, U. Verma, and K. K. Nagwanshi, “WBCs-Net: type identification of white blood cells using convolutional neural network”, *Multimedia Tools and Applications*, 81, 42131–42147, 2021.
- [20] K. Balasubramanian, N. P. Ananthamoorthy, and K. Ramya, “An approach to classify white blood cells using convolutional neural network optimized by particle swarm optimization algorithm”, *Neural Computing and Applications*, 34(18), 16089–16101, 2022.
- [21] A. Sengur, Y. Akbulut, U. Budak, and Z. Comert, “White Blood Cell Classification Based on Shape and Deep Features”, **2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)**, Malatya, Türkiye, 21-22 September, 2019.
- [22] A. Çınar and S. A. Tuncer, “Classification of lymphocytes, monocytes, eosinophils, and neutrophils on white blood cells using hybrid Alexnet-GoogleNet-SVM”, *SN Applied Sciences*, 3(4), 1–11, 2021.
- [23] M. A. R. Ridoy and M. R. Islam, “An automated approach to white blood cell classification using a lightweight convolutional neural network”, **2020 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technology (ICAICT)**, Dhaka, Bangladesh, 480–483, 28-29 November, 2020.
- [24] F. Özyurt, “A fused CNN model for WBC detection with MRMR feature selection and extreme learning machine”, *Soft Computing*, 24(11), 8163–8172, 2020.
- [25] M. Türkoğlu, K. Hanbay, I. S. Sivrikaya, and D. Hanbay, “Derin Evrimsel Sinir Ağı Kullanılarak Kayısı Hastalıklarının Sınıflandırılması”, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 334–345, 2020.
- [26] H. Fırat, M. E. Asker, and D. Hanbay, “Depthwise Separable Convolution Based Residual Network Architecture for Hyperspectral Image Classification”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C Tasarım ve Teknoloji*, 10(2), 242–258, 2022.
- [27] J. Hu, L. Shen, and G. Sun, “Squeeze-and-Excitation Networks”, **Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, USA, 7132–7141, 2018.
- [28] Y. Chen, Zhihao Zhang, and Lei Zhong, “Three-Stream Convolutional Neural Network with Squeeze-and-Excitation Block for Near-Infrared Facial Expression Recognition”, *Electronics*, 8(4), 385, 2019.
- [29] J. Wu et al., “WBC Image Segmentation Based on Residual Networks and Attentional Mechanisms”, *Computational Intelligence and Neuroscience*, 1610658, 2022.
- [30] Internet: P. Mooney, Kaggle - Blood Cell Images. www.kaggle.com/paultimothymooney/blood-cells (erişim tarihi: Jan. 30, 2022).
- [31] S. Nahzat, F. Bozkurt, and M. Yağanoğlu, “White Blood Cell Classification Using Convolutional Neural Network”, *Journal of Science Technology and Engineering Research*, 3(1), 32–41, 2022.
- [32] A. Khan, A. Eker, A. Chefranov, and H. Demirel, “White blood cell type identification using multi-layer convolutional features with an extreme-learning machine”, *Biomedical Signal Processing and Control*, 69, 102932, 2021.
- [33] M. Hosseini, D. Bani-Hani, and S. S. Lam, “Leukocytes Image Classification Using Optimized Convolutional Neural Networks”, *Expert Systems with Applications*, 205, 117672, 2022.
- [34] P. P. Banik, R. Saha, and K. D. Kim, “An Automatic Nucleus Segmentation and CNN Model based Classification Method of White Blood Cell”, *Expert Systems with Applications*, 149, 113211, 2020.
- [35] Y. Y. Baydilli and Ü. Atila, “Computerized Medical Imaging and Graphics Classification of white blood cells using capsule networks”, *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 80, 2020.
- [36] P. P. Banik, R. Saha, and K. D. Kim, “Fused Convolutional Neural Network for White Blood Cell Image Classification”, **2019 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)**, Okinawa, Japan, 22–24, 11-13 February, 2019.
- [37] R. B. Hegde, K. Prasad, and H. Hebbar, “Comparison of traditional image processing and deep learning approaches for classification of white blood cells in peripheral blood smear images”, *Integrative Medicine Research*, 39(2), 382–392, 2019.
- [38] S. Pang, A. Du, M. A. Orgun, and Z. Yu, “A novel fused convolutional neural network for biomedical image classification”, *Medical & Biological Engineering & Computing*, 57, 107–121, 2019.
- [39] H. Kutlu, E. Avcı, and F. Özyurt, “White blood cells detection and classification based on regional convolutional neural networks”, *Medical Hypotheses*, 135, 109472, 2020.

Planlamada Açık Veri Portalları ve Etkileşimli Haritalar: İzmir (Türkiye) - Sidney (Avustralya) Örneği

Araştırma Makalesi/Research Article

 Tuğçe Nida Nur ÖZBEK*,  Özge YALÇINER ERCOŞKUN

Şehir ve Bölge Planlama, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

nida.ozbek@outlook.com, ozgeyal@gazi.edu.tr

(Geliş/Received:02.02.2023; Kabul/Accepted:14.06.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1246353

Özet— Uluslararası boyutta giderek artan açık veri girişimleri gerçekleşmektedir. Hükümetler bu girişim kapsamında büyük ölçekte ve detayda veri toplamakta ve/veya üretmektedir. Bu verilerin açık erişimde ve yeniden kullanılabilir formatlarda yayınlanmasını sağlayabilmek adına açık veri portalları oluşmuştur. Bu nedenle çok sayıda açık veri havuzu, katalog, haritalama sistemi ve portal ortaya çıkmıştır. Coğrafi (mekânsal) işaretleme dili ile çevrimiçi erişilebilen içeriklere, görüntülenebilir ya da indirilebilir veriler olarak rastlanmaktadır. Birlikte çalışabilir ve bağlanabilir açık verilerin daha fazla mevcudiyeti, bu tip verilerin ikincil kullanımını katalize etmektedir. Başarılı açık veri portallarının verimli bir şekilde kullanılabilmesi ve geliştirilebilmesi için gerekli iyileştirmelerin sistematik biçimde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle bu çalışma özellikle açık veri portalları alanına yönlendirilmiştir ve ulusal açık veri portalının kullanılabilirliğinin analizine odaklanmaktadır. Çalışmanın amacı ulusal ve uluslararası düzeyde seçilmiş kentlerin açık veri portallarını karşılaştırmak ve bu portalların kalitesini daha da artıran yeni bir değerlendirme çerçevesi önermektir. Bu nedenle yoğunluklarının benzer olmasının göz önünde bulundurulduğu örneklem olarak seçilen kıyı kentlerinden İzmir ve Sidney'in sahip olduğu açık veri portallarının içerik analizi yapılarak sağlanan veri kümelerini ve nasıl paylaşıldığını değerlendirmek çalışmanın merkezinde yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler— açık veri, açık veri portalı, veri kullanımı, etkileşimli harita, izmir-sidney karşılaştırması, içerik analizi

Open Data Portals/Interactive Maps in Planning: The Case of İzmir (Turkey) - Sydney (Australia)

Abstract— An increasing number of open data initiatives are taking place internationally. Therefore, governments collect and/or produce data on a large scale and in detail. Open data portals were created in order to ensure that this data is published in open and reusable formats. Thus, many open repository, catalogues, mapping systems and portals have emerged. Content that can be accessed online with geographic (spatial) markup language is encountered as viewable or downloadable data. The greater availability of interoperable and connectable open data is catalyzing the secondary use of such data. In order for successful open data portals to be used efficiently, necessary improvements must be made systematically. This study is particularly focused on the field of open data portals and focuses on the analysis of the usability of the national open data portal. The aim of the study is to compare the open data portals of selected cities at the national and international level and to propose a new evaluation framework that improves the quality of these portals. It is at the center of the study to evaluate the datasets provided by content analysis of the open data portals owned by the cities of İzmir and Sydney and how they are shared.

Keywords— open data, open data portal, data usage, interactive map, izmir-sydney comparison, content analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son on yılda veriler, uzaktan erişim ile yeni bir hizmet olarak yayınlanmaya başlamıştır. Bu hizmeti sunabilmek için hükümetler, büyük ölçekte ve ayrıntılı veri toplama ve/veya üretme çabalarına girişmişlerdir. Bu yüzden uluslararası düzeyde açık veri kapasitesi ve girişimleri sürekli olarak artmaktadır. Toplanan verilerin açık erişimde ve yeniden kullanılabilir formatlarda yayınlanabilmesi için açık veri portalları oluşturulmuştur. Bu bağlamda, birçok açık veri havuzu, katalog, etkileşimli haritalama sistemleri ve portallar ortaya çıkmıştır. İndirilen veya görüntülenebilen ve çevrimiçi olarak erişilebilen içeriklerde, tekil, genişletilebilir, coğrafi (mekânsal) işaretlemeyle dayalı verilere ulaşılabilir.

Açık veri portallarının başarılı bir şekilde kullanılabilmesi ve geliştirilebilmesi için mevcut durum analizinin yapılması önem arz etmektedir. Bu bağlamda, çalışma temelinde Türkiye'deki açık veri portallarının durumunu değerlendirirken aynı zamanda planlama süreçlerine nasıl fayda sağlayabileceğini araştırmaktadır. Detayda ise kıyı kentlerindeki verilerin hem kara hem de deniz tarafından elde edilmiş daha geniş bir içeriğe sahip olması düşüncesi ve veri stoğu sayılarının/çeşitlerinin anlamlı olması için nüfus yoğunlukları (kişi/ha) benzer olan İzmir ve Sidney kentleri açık veri portallarını ve etkileşimli haritalarını karşılaştırarak, bu portalların planlama süreçlerindeki rolünü ve etkinliğini değerlendirmektedir.

Çalışmanın amacı, ulusal ve uluslararası düzeyde seçilmiş kentlerin açık veri portallarını karşılaştırmak, kullanılan koordinat sistemlerini, veri güncelliğini ve stoklarını incelemek, verinin kullanılabilirlik açısından analizini gerçekleştirmek ve bu portalların kalitesini artıracak bir değerlendirme çerçevesi sunmaktır. Bu amaçla, örnek olarak seçilen kentlerin açık veri portallarının içerik analizi yapılmakta ve sunulan veri kümeleri incelenmektedir.

Ayrıca, açık veri portallarının planlama uygulamalarına nasıl entegre edilebileceğini ve bu süreçte yaşanan zorlukları ortaya çıkarmak amaçlanmaktadır. Böylece, ulusal açık veri portalının kullanılabilirliği analiz edilmekte, ülkemizdeki açık veri kaynaklarının kalite ve çeşitlilik tespiti yapılmakta ve planlama alanında açık veri portallarının kullanımına ilişkin literatürdeki boşlukları doldurarak daha etkili planlama stratejilerinin/süreçlerinin veri odaklı ve bilgi temelli yapısının geliştirilmesine katkı sağlanması, hedeflenmektedir.

Bu çalışmanın araştırma soruları şunlardır:

- Ulusal ölçekte gerçekleştirilen açık veri portal çalışmaları uluslararası boyutta değerlendirilecek olsa hangi aşamada yer almaktadır, nasıl geliştirilebilir?
- Etkileşimli harita çerçevesinde paylaşımlar ne ölçüde hangi kategorilerde ve kaç katmandan oluşmaktadır?
- Planlama çalışmaları kapsamında hangi veriler kullanılabilir, eksiklikleri nelerdir?

2. YÖNTEM (METHOD)

Araştırma öncelikle literatür taraması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her iki kentin de açık veri portallarına kendi resmi sitelerinden erişim sağlanabildiği saptanmıştır. Ek olarak Sidney kenti etkileşimli haritasına eklenebilir katmanların yer aldığı Esri'nin web tabanlı haritalama yazılımı ArcGIS Online'ın kendi resmi sitesinden bir yönlendirme de mevcuttur. Veri toplama aşaması saptanan internet siteleri üzerinden uzaktan erişilebilen veriler aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma bulguları veri toplama, içerik analizi, karşılaştırma, değerlendirme çerçevesinin oluşturulması ve sonuçların analiz edilmesi yöntemleri ile elde edilecektir. Toplanan veri setleri içerik analizine tabi tutulmuştur. Açık veri portalları üzerinden elde edilebilecek veriler, örneklem alanı seçilen kentlerin etkileşimli haritaları çerçevesinde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu yöntem, Türkiye'nin açık veri portallarının durumunu ve planlama alanındaki rolünü değerlendirmek için bir çerçeve sunmaktadır. Veri toplama, içerik analizi, sonuçların analizi ve tartışma adımlarıyla çalışmanın amacı gerçekleştirilmekte ve bilimsel bir yaklaşım sergilenmektedir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

3.1. Açık Veri Kavramı (Concept Of Open Data)

Açık veri, herhangi bir telif hakkı, patent veya diğer kontrol mekanizmalarına bağlı olmaksızın herkes tarafından; serbestçe erişilebilen, tescil veya diğer kontrol mekanizmalarına tabi olmadan yeniden kullanılabilen, dağıtılabilen veri türüdür [1]. Açık Veri Vakfına (Open Knowledge Foundation) göre "açık veri" tanımı şöyledir:

- İnternet üzerinden indirilerek bulunabilen ve değiştirilebilir şekilde yayımlanabilen,
- Yeniden kullanıma ve yeniden paylaşımaya izin veren şartlarla açılabilen,
- Herhangi bir ayırım olmadan (örneğin yalnızca ticari amaçlarla kullanılan verilerdir gibi) kullanılabilen veri türüdür.

Açık Veri Yapısı Dünya Bankasına göre 3 unsur tarafından oluşmaktadır.

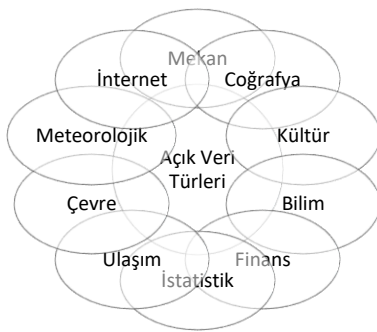
- Makine Okunabilirliği: Elde edilmiş veya üretilmiş verinin bilgisayar tarafından işlenmesine; teknik engellere takılmadan kategorilendirilmeye, veride eleme yapmaya da imkan sağlaması; ücrete tabi yazılımlar kullanılmadan, erişim sağlanabilen standart dosyaların kullanılması.
- Tekrar Erişim İzni: Kullanıma sunulan verilerin yeniden kullanımı veya paylaşımında yasal sınırlandırmalarının olmaması
- Etkileşim: Devletin veriyi etkileşimli biçimde çevrimiçi sunması

Açık verinin özellikleri:

- Yeniden kullanım ve dağıtım: Veri, tekrar kullanım ve dağıtımına izin veren koşullar altında sağlanmalı.
- Evrensel katılım: Veri sınırlaması olmadan, özgürce herkes tarafından kullanılabilmesi.
- Erişim ve Kullanılabilirlik: Veri bir bütün olarak ve uygun bir tekrar üretim maliyetini aşmayacak biçimde, uygun ve değiştirilebilir bir şekilde, tercihen internet üzerinden ücretsiz olarak elde edilebilir bir biçimde sunulması.

Açık veriler sadece atıf yapma ve benzer şekilde paylaşma şartına tabidir. Genellikle ham formda bulunurlar. Bununla birlikte, yeniden yayınlama, orijinal kaynağa atıfta bulunmanın yanı sıra verilerin değiştirilmemesi veya yanlış sunulmamasını sağlamak amacıyla da söz konusu şekilde paylaşılmaktadır. Devlet verilerinin, açık formatlarda yayınlaması; vatandaşlar, işletmeler, araştırmacılar ve diğer paydaşlar için gelişmiş veri analitiği yoluyla yeni anlayışlar elde etme konusunda önemli faydalar sağladığı kanıtlanmıştır [2].

Günümüzde, topluma sağladığı faydalar ve verilerin kullanılmasını teşvik eden yeni mevzuatlar nedeniyle verilerin web üzerinde yayınlamasına eğilim artmıştır. Veri kümeleri olarak da bilinen bu açık veri koleksiyonları, açık hale getirmek için dünya çapında hükümetler ve kurumlar tarafından genellikle açık veri portallarında yayınlanmaktadır. Web'de ücretsiz ve yeniden kullanılabilir bir şekilde elde edilebilmektedir. Yaygın davranış, yayıncıların verilerini ayrı tablo veri kümeleri olarak göstermesidir. Açık veriler çok değerli kabul edilmektedir çünkü kamuya açık bilgilerin kullanımının teşvik edilmesi şeffaflık, yenilikçilik ve diğer sosyal, politik ve ekonomik faydalar sağlamaktadır. Bu faydaları Coğrafya, Çevre, Ulaşım, Finans gibi veri temaları/türleri üzerinden sağlamak mümkündür (Bkz. Şekil 1) [3].



Şekil 1. Açık Veri Türleri (Open Data Types)

Açık veri, kamu sektörü için birçok fırsat ve avantaj sağlasa da açık verinin yayımlanma ve kullanım süreçleri karmaşıktır. Kullanıcıların açık veriyi nasıl, ne zaman kullanacaklarını ve iş süreçlerinde nasıl kullanacaklarını tahmin etmeleri gereken kısımlar hala eksiktir.

3.2. Açık Veri ve Portalı İle İlgili Uygulamalar (Applications Related To Open Data and Portal)

Açık veri portalı "Açık kaynaklı verilerin makine tarafından okunabilir formatlarda yayınlamasına, yönetmesine, üretmesine ve kullanılmasına; verileri web aracılığı ile başka bir yerde yayınlanan veriler ile ilişkilendirilmesine, verilerin üzerine inşa edilmiş uygulamaları yayınlamasına ve diğer kullanıcılarla etkileşime girmesine olanak tanır" şeklinde ifade edilebilmektedir [4].

Portallar veri setlerinin metaveri ile farklı formatlarda (.xml, .kml, .gml, .doc, vb), görüntüleyebileceği ve/veya indirebileceği kullanımı kolay panellerde tanımlı etiketler/gösterim (lejan) ile düzenlenen veri paylaşım platform çeşitleridir.

Bunun gibi veri kümelerini bulabilmek için veri setlerinin iyi tanımlanması ve kullanıcılar için yeniden kullanılabilir araçları içerecek şekilde faydalı ve kaliteli veri biçiminde sunulmalıdır.

Herhangi bir veriyle çalışırken çözülmesi gereken ilk problem veri ve onu nerede bulacağımız ile ilgilidir. Verileri kullanırken tam olarak doğru veri kümesine ulaşmak pek mümkün değil. Bunun sebebi yeterli metaverinin doğru bir şekilde ifade edilip yayınlanmamasından kaynaklıdır.

3.2.1. Elektronik Belediyecilik (Electronic Municipality)

Belediyeler için yönetişimci bir anlayışı özümsemek ve benimsemek öncelikle kaçınılmaz bir sorumluluk ve devamında artık günümüz şartlarıncı da zorunluluk haline gelmiştir. Bilişim teknolojilerinin gelişimi bu değişim sürecini daha hızlı etkilemiştir. Bu doğrultuda belediyelerin iletişim ve bilgi teknolojilerini kullanması ile hem yerel halkın ihtiyaçlarına en etkin ve hızlı bir çözümle cevap verebilmesi hem de kente dair veri akışını kontrol altına alması, katılımın sağlanması ve halka birden fazla ve çok yönlü hizmet sağlanabilmesi 'Elektronik-Belediyecilik (E-Belediye) ile mümkündür [5].

E-Belediye, yerel yönetimlerin hizmet ve faaliyetlerince haberleşme teknolojilerinin kullanımı, işletmelere ve halka internet aracılığıyla etkin ve ücretsiz şekilde hizmet sunması, kurum içi birimlerin ağlar ile entegrasyonu ve ilgili diğer birimlerle de ağ üzerinden iletişimin sağlandığı birim veya platformdur [6]. Özetle belediye tarafından sunulan/sunulması öngörülen hizmetlerin teknoloji ile tek paydada sunulmasıdır.

E-Belediyeciliğin amacı, halkın yönetime daha etkin katılımını sağlamak, tüm zaman dilimlerinde herkesin, bilgiye erişmesini sağlamak, harcanan zamandan tasarruf ederek verim alabilirliği yükseltmek ve böylelikle halkın erişim çerçevesini ve memnuniyetini arttırmaktır. [7].

E-Belediyecilik, ilgili belediyelerin sunmuş oldukları hizmetleri ve işleyişlerini elektronik ortamda gerçekleştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Belediyelerde elektronik hizmet ve işleyiş geçilmesindeki temel faydalar halka sunulan kamu hizmetleri niceliğinin ve niteliğinin ve iç yönetsel verimliliğin artırılmasıyla ilişkili olmaktadır. Bu kapsamda 5 aşamanın varlığından bahsetmek mümkündür [5].

1. Bilgilendirme ve tanıtım hizmetlerinin, duyuruların ilgili belediyenin yayınladığı resmi web sitesi ve elektronik hizmet sayfasında güncel olarak dağıtımının sağlanması,
2. Geribildirim mekanizması ve çift yönlü iletişim ve ile program, kültürel/sosyal faaliyet, hizmet ve taleplerine yönelik altyapının sağlanması,
3. Mülkiyet tescili, finansal işlemler, işletme ruhsat başvurusu/yenilemesi işlemleri, imar faaliyetleri, para cezaları, vergiler ve elektrik/su faturalarının çevrimiçi olarak ödenmesi, e-tedarik, sosyal yardımlaşma ve dayanışma konuları, elektronik satın alma, gibi özelliklerin e-belediye web sayfasında bulunması,
4. Tüm işlemlerde entegrasyonun ve sayıldığı sunucu ile birlikte çalışabilirliğinin sağlanması,
5. Gelişmiş güvenlik ve şifreleme altyapısının ve üye kaydının varlığının sağlanmasıdır.

Avantajları gibi dezavantajlar da doğuran durumlar söz konusudur. Teknoloji kullanımına eşgüdüm sağlayamayan personel, uzman eksikliği, yetersiz mali kaynak, aşırı gizlilik ve gizlilik sorunları olarak sıralanabilmektedir. Şeffaflığı, katılımcılığı, iletişim kanallarının dinamik şekilde rol almasını ve maksimum faydayı esas alan bu anlayış, belediyeleri halk odağına yaklaştırırken kent ve kentli yaşamını daha kolay, planlı, erişebilir ve ulaşılabilir bir değişime itmektedir.

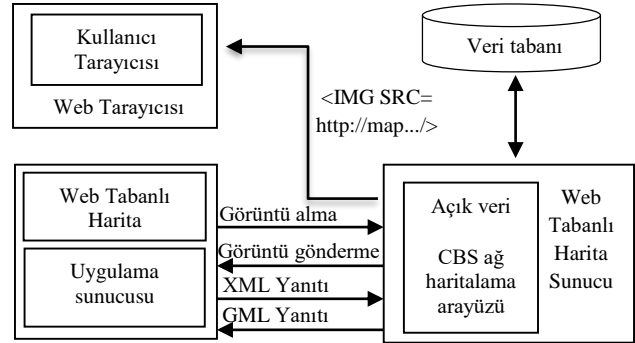
3.2.2. Web Tabanlı ve Etkileşimli Haritalar (Web Based and Interactive Maps)

Günümüzde internet ve konum verisinin birleşmesi, birçok yeni kavramı da beraberinde getirmiştir. Bunlardan bazıları; Web haritalama, internet haritalama, etkileşimli harita, bulut tabanlı haritalama, internet CBS, Web CBS, mobil tabanlı haritalama, online haritalama vb. gibi sıralanabilir ve çeşitlerini çoğaltmak mümkündür. Kısaca web harita, internet üzerinde dinamik şekilde haritalayabilme kabiliyetidir. İnsanların amaçlarına ve gerekliliklerine göre haritalama yeteneği teknolojinin gelişmesiyle değişmiştir. Open Geospatial Consortium (OGC)'a göre ise web haritalama terimi "farklı türlerin dinamik bir sorgulama, erişim, işleme, kombinasyon ve tasviri" olarak tanımlanmaktadır.

Yeryüzünde verilerin %80'i konum verileri ile bağlantılıdır. Coğrafi bilgi sistemleri-CBS (Geographic information systems-GIS) konuma bağlı bilgilerin elde edilmesi ya da toplanması, analiz edilmesinde; internet ise bu verilerin paylaşımında çok büyük rol üstlenmektedir. İki bileşenin birlikte kullanılabilmesiyle web tabanlı coğrafi bilgi sistemleri ortaya çıkmaktadır. Kullanıcılar

web tabanlı harita ile ihtiyaç duydukları veriyi dinamik bir şekilde istedikleri zaman ulaşabilmektedir. Verileri isteğe bağlı koşullarda ve durumlarda görüntüleyerek hatta indirerek, analiz çalışmalarını gerçekleştirmektedirler [8].

Bu temel elemanlar ile kullanıcılara veri setlerini sorgulama/arama, veriler arası gezinme gibi temel işlemlerin yapılabileceği bir konumsal bir platform tasarlanmıştır. İnteraktif ya da etkileşimli haritalar ise kullanıcılar için CBS (GIS) ile ister tematik, ister bölgesel haritalar yapma imkanı sunmaktadır. Web tabanlı haritalara çizme, katman ekleme, indirme gibi benzeri daha detayda kullanma imkânı tanımlayan genel istemci uygulamaları eklenerek geliştirilebilir. Böylece web tabanlı olarak üretilen etkileşimli haritalarda gezinmek, belirli özellikleri tanımlamak, açıklamalar, görseller eklemek vb. gibi pek çok özellik bir arada bulunarak kullanıcıya hitap seviyesi yükselecektir. Web tabanlı haritaları oluşturmak ve etkileşimli bir yapıda sunabilmek için gerekli sistem mimarisi temel elemanlar şu şekilde sıralanabilir (Bkz. Şekil 2) [9]:



Şekil 2. Web Tabanlı Harita Uygulamasının Sistem Mimarisi

(System Architecture of Web Based Map Application)

Web tabanlı harita uygulamasının sistem mimarisi, istemci tarafı (kullanıcı tarayıcısı), sunucu tarafı, veri tabanı ve açık veri kaynaklarından oluşmaktadır. İstemci, kullanıcı arayüzünü sunarak harita etkileşimlerini yönetir. Sunucu ise veritabanında bulunan açık veri kaynaklarının ve etkileşimli harita deneyimi için verilerin işlenmesi, erişilmesi ve kullanıcılara sunulmasını sağlar.

Özetle etkileşimli haritalar ise yol, bina, onaylı plan ve kente dair bilgilerin/verilerin interaktif konum verisi (güzergah, yapılaşma koşulu, bina yaşı/fotoğrafi vb.) üzerinden dinamik ve kişisel kombinasyonlarla sunulan platformlardır.

3.3. Planlamada Açık Verinin ve Cbs'nin Önemi (Importance Of Open Data and GIs In Planning)

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), web teknolojilerinden daha önce kurulmuş bir sistemdir ve ilk olarak Roger Tomlinson tarafından, 1962 yılında Kanada'da geliştirilerek CBS'nin ustası olarak anılmıştır [10]. CBS verilerinin mekansal olarak etkin kullanılması doğru, güvenli ve hızlı analiz

edilmesini ve görselleştirilmesini sağlar. Bu görselleştirmeye üçüncü boyut kazandırılarak modellendirmeler de yapılabilmektedir. Böylece CBS, planlama çalışmalarına daha doğru ve gerçekçi hatta öngörüsü yüksek gibi bir takım özellikler kazandırmaktadır [11].

Multidisipliner konulara hakim olan kentsel planlama bundan dolayı da çok farklı verilerin kullanıldığı ve katalize edildiği bir bilim dalıdır. Hem sayısal değerlerin hem de mekana dayalı verilerin değerlendirilebilmesi için çok iyi sentezlenmesi gerekmektedir. Bunun için de öncelikle doğal çevre ve yapay çevre, kültürel ve ekonomik, toprak yapısı, arazi örtüsü yapı gibi araştırma-analiz verilerinin bulguya dönüşebilmesi için de bilgisayar ortamında düzenli bir şekilde depolanması gerekmektedir. Bütün verilerin bilgisayar ortamında düzenli bir şekilde toplanması veri tabanına depolanmasıyla mümkündür. Veri tabanında depolanan sayısal, sözel ve grafiksel veriler ilişkilendirildiğinde verilerin mekana yansımaları sağlanmaktadır. Kategorizelendirilebilen verilerin çeşitliliği ve çokluğu sentezlendiğinde ve bu sentez yorumlanabildiğinde elde edilen bulgular ancak bir anlam ifade etmektedir. Bu ilişkilendirme ise grafik ve grafik olmayan verilerin bir arada tutulması anlamına gelmektedir. Ve bu CBS'nin temel mantığını oluşturmaktadır.

Planlama sürecinin analiz ve sentez aşamalarında çeşitli sorgulama tipleri, mekansal çakıştırmalar ve sınıflamalar kullanılması gerekmektedir. Böylece verilerin daha etkin, hızlı, güvenli ve doğru bir değerlendirmesi sağlanabilmektedir. Yukarıda söz konusu edildiği üzere planlamada teknik olarak üç temel adımda da CBS ihtiyacı ortaya çıkmaktadır ve bu adımlar aynı zamanda CBS'nin sunduğu imkanlardır [11].

- Etkin kullanılması
- Verilerin depolanması,
- İlişkilendirilmesi

Veri çeşitliliği ve bu çeşitliliğin anlamlı sentezlenmesi, planlamada daha başarılı ve sağlıklı kararlar üretilmesine ve CBS ise tüm bu verilerin etkin kullanılmasına, dolayısıyla alınan kararlarda öngörünün güçlenmesine ve üretkenliğin artmasına imkan tanımaktadır. CBS, mekansal verileri işleyen, bu verilerin analizini yapan, modelleyen ve görselleştiren, yönetme ve karar fonksiyonlarını etkileşimli bir biçimde değerlendiren, birbirleriyle eş güdümlü ilişkilerini sağlayabilen bir sistemdir. En önemlisi diğer bilgi sistemlerinden farkı, coğrafik veri ile mekansal koordinatlar arasında hem fonksiyonel hem de etkin bağlantılar kurabilen bir sistemdir. CBS, özellikle planlama alanına ait sağlıklı kararların alınmasında, stratejilerin belirlenmesinde etkin bir rol oynadığı için üst ölçekli planların yapımı aşamasında kullanılmasının fayda sağlayacağı çok önemli bir araçtır [11].

Coğrafi bilgi sistemi, veri tabanı yönetim sistemi ve planlama destek sistemi gibi bilişim tabanlı sistemler post-

pozitivist bir planlama kuramı çerçevesinde imar süreçlerinin ve şehir planlama yönetilmesinde kullanılmaktadır.

Planlama her ne kadar kente ve kentliye hizmet verme maksadı ile gerek özel paydaşlarla gerek derneklerle gerekse kamu kurumlarınca yapılmakta olsa da onay makamları her daim kamu kurum ve kuruluşlarıdır. Belediye, İl Özel İdaresi, Bakanlık gibi kamu kurumlarınca onaylanan her türde ve ölçekte planlar, bu planlara esas hazırlatılan jeolojik ve jeoteknik raporları, halihazır haritalar ve buna benzer kente özgü yapılmış her araştırma, analiz veya plan çalışmalarının kronolojik sıralamaya göre açık veri kaynağı desteği ile sunuluyor olması hem güçlü ve düzenli bir arşiv yapısını hem de gelecek çalışmalara yön verecek geçmiş çalışmaları içinde barındırır.

Aslında yeterli geliştirmeler tamamlandığında açık veri platformlarının kullanıcı, devlet yetkilileri ve ortakları arasında planlama faaliyetlerini kolaylaştırmak için çevrimiçi bir kurulum olduğunu söylemek mümkündür. Açık verilerin web tabanlı etkileşimli haritalara entegrasyonu ile kullanıcılara ve planlamaya;

- Erişim kolaylığı, verilere internet üzerinden kolayca erişim sağlanmaktadır [8].
- Ekonomik ve hızlı bakım sağlamaktadır. Kullanıcılar veriye ve bilgiye doğrudan kaynağından ulaşabilmektedir. Herhangi bir teknik sorun yaşandığında yalnızca sunucu bilgisayarlarının bakım ve onarımlarının yapılması durumunda hata giderilmiş olacaktır. Böylece hem ekonomik hem de zamansal verimlilik sağlamaktadır.
- Doğal ve kültürel varlıkların yok olması, su kaynaklarının yitirilmesi, tarımsal toprakların kaybedilmesi, hava-toprak-gürültü kirliliği, ormanlık alanların yitirilmesi gibi tahribat endişelerini gidermeye yönelik politikalar izlemede fayda sağlamaktadır.
- Geçmiş analizlerin varlığı ve güncel tutularak irdelenmesi gelecek yıllara ilişkin tahminleri doğruluk oranını arttıracaktır.

Ayrıca masaüstü CBS uygulamaları çoğunlukla belli bir CBS bilgisine sahip kişilere yönelik programlar sunmaktadır fakat etkileşimli haritalar halka yönelik olduğu için herkese hitap edebilmektedir [10].

Tüm bu bahsi geçen olumlu girdiler dışında veriye olan güvenilirlik günümüzde internetinde yaygın kullanımıyla beraber önem kazanmaktadır. Planlamada kullanılacak verinin kaynağı, güvenilirliği ve güncelliğini teyit edilmesi gereken en temel konulardandır. Bazı web haritalar, birden fazla sunucudan veri çekebilmektedir fakat bu noktada yüklenme biçiminin sağlıklı ve okunabilir olması için tüm veri sunucuların hızı, yenilenme sayısı, katmanları yüklenme gibi verimlilikleri önemli bir faktör haline dönüşür ve benzer oranlarda çalışması beklenir. Verilerin sunucudan alıcıya ulaşırken eksiksiz, hızlı ve tam bir şekilde sunulması önemlidir.

Planlamada erişim, izleme ve değerlendirme, bulut bilişim, veri madenciliği ve makine öğrenmesi gibi teknoloji ve yöntemlerin; hizmet verimliliğini ve etkinliğini arttırmak, geleceğin kentlerini yönetmek ve Ar-Ge çalışmalarını arttırmak, yeni hizmet ve ürünler üretmek ile ilgili öncelik ve önem planlamanın her aşamasında (her ölçüğünde ve her analizinde) CBS kullanımı doğruluğu arttırırken hata yapma olasılığını en az indirir. Böylece elde edilmesi öngörülen verinin güvenilirliği ve kullanım alanı hem veri kaynağından dolayı hem de veri sentezleme yöntemi ve yönetimindeki program becerisinden dolayı artış gözlemlenecektir.

3.4. Açık Veri Portallarında Etkileşimli Haritalar (Interactive Maps in Open Data Portals)

Açık bir veri portalı, ücretsiz kullanılabilir veri kümelerinin keşfedilebilirliğini önemli ölçüde arttırmak için kullanılması gereken çözümlerden biridir. Ancak verilerin anlamının açıklanmaması ve verileri anlamlandırmaya yönelik bilgi eksikliği gibi açık verilerin kamusal kullanımı engelleyen çeşitli faktörler de açık verinin portallarda sunumlarında farklılıklar ortaya çıkarmıştır [2].

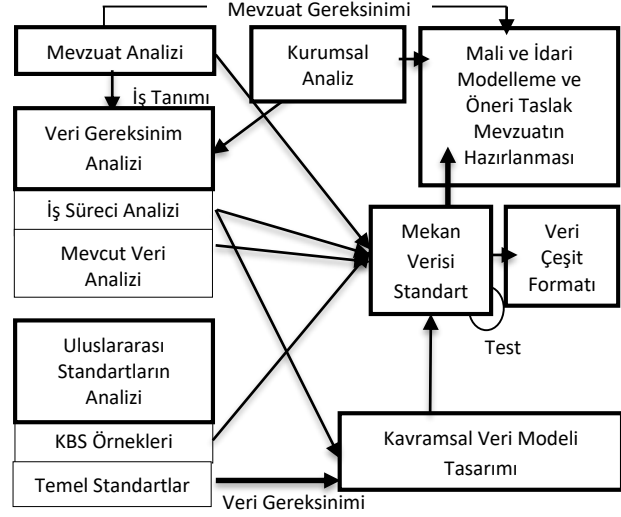
Türkiye’de açık verilerin etkileşimli haritalar üzerinden sunulan platformlara genel olarak “Kent Bilgi Sistemi” adı verilmiştir. Kent bilgisi, kentin sosyo-ekonomik özelliklerinden coğrafi niteliklerine, üstyapı öğelerinden altyapı sistemlerine, ulaşım ağlarından güvenlikle ilgili bilgilere, donatı alanlarından sağlık tesislerine ve eğitim birimlerine kadar kent yaşamındaki bütün bilgileri içine almaktadır. Farklı kurumlar tarafından elde edilen, paylaşılan, saklanabilen veriler ve bu veriler kullanılarak kamuya düzenli bir erişim şeklinde sunulan hizmetler kent bilgisiyle doğrudan ilişkilidir [12].

Kent bilgi sistemi (KBS), bir kentin yönetim, hizmet ve planlama sürekliliğinin sağlanabilmesi için hayati bir öneme sahiptir. Bilginin/verinin mekansal varlığı, karmaşıklığı ve niteliği, hizmet yönetimi, planlanması, sunumu ve sürdürülebilirliğinde CBS kaçınılmaz bir araçtır. Bu çerçevede doğrultusunda KBS, ilgili yerel yönetimlerce verilerin güvenli olarak depolanması, kentlerin daha doğru planlanması, yönetilmesi ve kentlilerin söz konusu hizmetlere daha kolay erişmesine yönelik özelleştirilmiş bir CBS uygulaması olarak tanımlanmaktadır [12].

2007 yılında yayınlanan “Coğrafi Tabanlı İl-Kent Yönetim ve Bilgi Sistemi Teknik Kılavuzu”nda da ortak bir KBS/CBS tanımı yapılmış, KBS’nin, CBS’nin alt bileşeni olduğu belirtilmiştir. KBS bir ilin kent merkezini hem sayısal hem de mekansal olarak irdelemekte ve sınırları belli bölgeye yönelik gerçekleştirilmektedir [13]. 2012 yılında yayınlanan “Belediyeler ve İl Özel İdarelerinin Kuracakları KBS Hakkında Mevzuat Raporu”na göre de KBS, CBS’nin kent bazında uygulanmasıdır. Farklı kurumlar ve uzmanlarca yapılan tanımlardan anlaşılacağı gibi CBS genel bir çerçevede olup, yapılan uygulamanın niteliğine göre alt kategorilere ayrılmakta ve

sınıflandırılmaktadır. KBS, kent içerisinde gerçekleştirilen hizmet ve faaliyetlerin daha doğru, nitelikli ve etkili olarak gerçekleştirmede kullanılan bir araçtır [14].

KBS için yapılan toplantılar ve çalıştaylar sonucunda standartların belirlenmesine yönelik bir proje yaşam döngüsü şablonu oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 3) [12]. Bu şablonun canlılığını ve dinamikliğini sürdürebilmesi için öncelikle mevzuat gereksinime ihtiyaç duyulmaktadır.



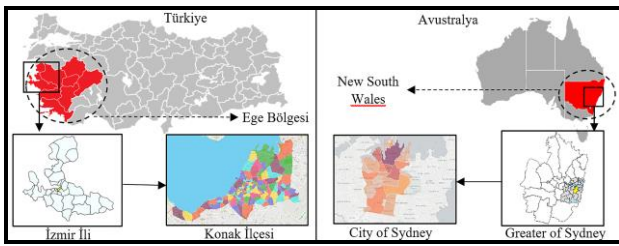
Şekil 3. Kent Bilgi Sistemi sistemsel döngüsü (Urban Information System systemic cycle)

Kent Bilgi Sistemi projesinin yaşam döngüsü, mevzuat analizi, kurumsal analiz, veri gereksinim analizi, uluslararası standartların analizi, kavramsal veri modeli tasarımı, mekansal veri standartlarının belirlenmesi, KBS veri değişim formatının geliştirilmesi, idari ve mali modellemenin yapılması, ve taslak mevzuatın hazırlanması aşamalarından oluşur. Bu aşamalar, projenin başlangıcından itibaren mevzuat araştırmasından, veri gereksinimlerinin belirlenmesine ve standartlarının oluşturulmasına kadar olan süreci kapsamaktadır. Projenin tamamlanmasıyla birlikte Kent Bilgi Sistemi'nin yönetimi ve idaresi için gerekli temel yapılar ve mevzuat düzenlemeleri oluşturulmuş olur. Planlama çalışmalarında hem stratejik hem de fiziksel niteliklerin tanımlanması ve ekonomik, sosyal, çevresel boyutlarda kararları mekana yansıtılması gerekmektedir. Alınan stratejik kararlar, mekansal ifadesini bulan plan kararlarına dönüştüğünden her tür verinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Verilerin değerlendirilmesi, sistematik bir yaklaşımla mümkündür. Ancak bu sayede tüm verilerin farklı boyutlar çerçevesinde sentezlenerek elde edilmesi sağlanabilmektedir.

Teknolojisinin gelişmesi, CBS'yi olumlu bir şekilde etkilemiştir. Bu gelişme sayesinde, etkileşimli haritalardaki katman sayısı artarak, kullanıcıların istedikleri bilgiye daha hızlı, detayda, çeşitte ve kolay erişebilmelerini sağlamıştır.

3.5. Açık Veri Portalı Karşılaştırması (Open Data Portal Comparison)

Bu çalışma açık veri, e-belediyeçilik, açık veri portalı ve etkileşimli harita gibi doğrudan ya da dolaylı olarak planlama konuları ile bağlantı olabilecek hizmetlerin İzmir ve Sidney kentlerine ait portallar üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenerek değerlendirilmesi ile oluşturulmuştur. Karşılaştırma yapılırken seçilen kentlerin nüfus, yüzölçümü ve yoğunluk gibi hususlarda benzerlik göstermesine dikkat edilmiştir. Bunun yanı sıra denizel etkinin sağlamış olacağı veri stoğunun da fazla olacağı düşüncesi ile kıyı kentlerine hizmet veren ilçeler belirlenen Türkiye’den Ege Bölgesinde yer alan İzmir İli Konak İlçesi yönetimlerine ait portallar ile Avustralya’da New South Wales (NSW) Eyaletinde yer alan Greater Sydney’e bağlı ve merkezi olan City of Sydney yönetimlerine ait portallar incelenerek karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan bölgelerin lokasyonel gösterimi ise Şekil 4’te gösterilmektedir.



Şekil 4. İzmir (Türkiye) ve Sidney (Avustralya) mekansal karşılaştırma haritası
(Spatial comparison map of Izmir (Turkey) and Sydney (Australia))

Tablo 1’de, benzer fiziksel özelliklere sahip olan ve aynı amaca hizmet eden iki kentin farklı ölçeklere ait portallarının hangi web sitelerinde incelendiği ayrıntılı bir şekilde sunulmaktadır.

Tablo 1. Karşılaştırılan Websiteler
(Compared websites)

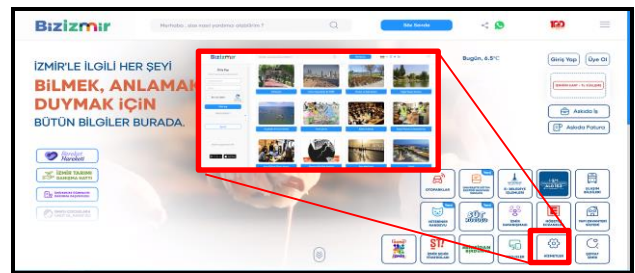
	İZMİR	NSW (New South Wales)
<i>Veri Türü</i>	<i>Veri Kaynağı</i>	
Resmi Web Sitesi	www.izmir.bel.tr	www.nsw.gov.au
E-Belediye	www.bizizmir.com	www.data.nsw.gov.au
Açık Veriler	www.acikveri.bizizmir.com	www.opendata.transport.nsw.gov.au www.data.nsw.gov.au
Etkileşimli Harita	www.cbs.izmir.bel.tr	https://www.arcgis.com/apps/ https://www.planningportal.nsw.gov.au/spatialviewer
Nüfus Verileri	www.tuik.gov.tr/	https://www.citypopulation.de/en/australia/sydney/
	KONAK	CITY of SYDNEY
Resmi Web Sitesi	www.konak.bel.tr	https://www.cityofsydney.nsw.gov.au/
E-Belediye	www.konak.bel.tr/ebel ediye	https://online.cityofsydney.nsw.gov.au/Account
Etkileşimli Harita	https://keos.konak.bel.tr/webaski/?MID=96#	https://www.mysydney.nsw.gov.au/interactive-map
Açık Veriler	Resmi web sitesinden	https://data.cityofsydney.nsw.gov.au/pages/open-data
Mekansal Veriler	https://keos.konak.bel.tr/imardurumu/	https://geomap.cityofsydney.nsw.gov.au/gxe/?viewer=Planning#

Tabloda yer alan linkler incelendiğinde bazı erişimlerin doğrudan olmadığını dolaylı yollardan ya da sitelerden ulaştığını söyleyebilmek mümkündür (Örneğin: Konak İlçesi Etkileşimli Harita linki).

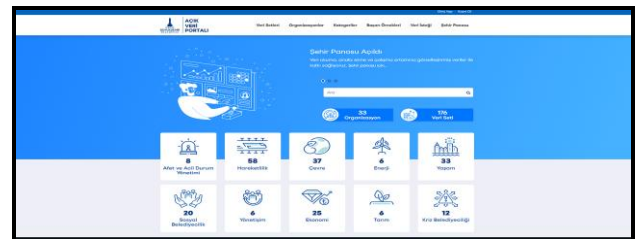
3.6. İzmir Kenti (City of Izmir)

İzmir, Türkiye’de Ege Bölgesi’nde bulunmakta olup; ülkenin 81 ilinden biridir. Ülkenin nüfus bakımından en kalabalık 3. şehridir. Ekonomik, tarihi ve sosyo-kültürel açıdan önde gelen şehirlerden biridir. Nüfusu 2021 yılı itibarıyla 4.425.789 kişidir. Yüzölçümü olarak ülkenin 23. büyük ilidir ve 11.891 km² büyüklüğündedir [15]. Konak İlçesi İzmir Kentinin denize kıyı olan ilçelerinden biridir. Kentin kültür, sanat ve eğlence merkezi olması nedeniyle hem yerli hem de yabancı turistlerin uğrak yeri durumundadır [16]. İlçe 25 km² büyüklüğünde olup 363.181 kişinin yaşadığı yaklaşık 145 kişi/ha yoğunluğuna sahip bir ilçedir.

İzmir Büyükşehir Belediyesi Ocak Ayı 2021 yılında “Akıllı Şehir İzmir” hedefi doğrultusunda demokratik yönetim ve ekonomik kalkınma anlayışıyla kent ile ilgili verilerini açık veri portalı üzerinden ücretsiz erişime açmıştır [17]. İzmir Büyükşehir Belediyesi resmi web sitesinde Hızlı Menü seçeneğinin altında açık verilerin bulunduğu “Bizİzmir” sayfasına yönlendirme bulunmaktadır. Bunun dışında ulaşım, tarım, hemşehri iletişim merkezi gibi hızlı erişim yönlendirmeleri de mevcuttur. Yine kentin resmi sitesinden E-işlem merkezine olan yönlendirme ile e-beyanname, ödeme, sorgulama, bilgilendirme, kurum başvuruları gibi seçenekler de yer almaktadır. Dokümanlar yönlendirmesi ile Büyükşehir Belediyesine ait Yönetmelikler/Yönergeler, Mali Yapı (Bütçe, hesap, vb), Stratejik Yönetim (Performans Programları, Faaliyet Raporları, vb) gibi şeffaflığı sağlamak amacı ile halka açık ücretsiz ve pdf formatında indirilebilir veri olarak paylaşılmıştır [18].



Şekil 5. Bizİzmir Sitesi Anasayfası (Bizİzmir Site Homepage)



Şekil 6. İzmir İli Açık Veri Portalı Anasayfa
(İzmir Province Open Data Portal Homepage)

“Bizİzmir” açık veri portalı sayfasını incelendiğinde Otoparklar, E-Belediye İşlemleri, Ulaşım Bilgileri, Yapı Envanteri Sistemi, Projeler, Hizmetler, Şeffaf İzmir gibi kategoriler yer almaktadır. Hizmetler sekmesinden tekrar İzmir Büyükşehir belediyesi resmi sitesine, Açık veri portalına, İzmir Şehir Tiyatroları, Halkın bakkalı, İzmir Art gibi sitelere yönlendirmeler mevcuttur (Bkz. Şekil 5) [18]. Buradan ulaşılan açık veri portalı açılış sayfasında 33 Organizasyon, 176 adet ise veri seti bulunduğu bilgisi yer almaktadır. (Bkz. Şekil 6). Altında yer alan kategori başlıklarına ait sayılar ise kategoride bulunan veri seti sayısını ifade etmektedir. Fakat içinde yer alan tekrarlı veriden dolayı bu sayıların toplamı 176 değil 211 çıkmaktadır [19]. Açık veri portalına ilişkin kategoriler incelendiğinde Tablo 2’de kente ait ücretsiz erişimi mümkün indirilebilir ve görüntülenebilir verilerden en çeşitli olan setler örnek teşkil etmesi açısından detayda incelenmiştir.

Tablo 2. İzmir Açık Veri Portalı örnek veri setleri ve durumu (Izmir Open Data Portal sample datasets and status)

Veri Adı	Veri Türü				Kaynağı	Güncelik
<i>Afet ve Acil Durum Yönetimi</i>						
İtfaiye Acil Müdahale Sayıları***	C	X			İzBB* İtfaiye Yangın ve Acil Müdahale Şube Müdürlüğü	Aylık
	S	L				
	V	S				
		X				
<i>Hareketlilik</i>						
İzmir Ulaşım Merkezi Çekici Hizmeti**	XLSX				İzBB İzmir Ulaşım Merkezi Şube Müdürlüğü	Günlük
Bisiklet Altyapı Haritası	H	GeoJSon			İzBB Sürdürülebilir Ulaşım Planlama Şube Müdürlüğü	Düzensiz
	T					
	M					
	L					
Taksi Durak Bilgileri	C	X	A	P	Coğrafi Bilgi Sistemleri Şube Müdürlüğü	Düzensiz
	S	L	P	D		
	V	S	I	F		
		X				
<i>Çevre</i>						
Barajların Doluluk Oranı	A	C	PDF		İzsu Bilgi İşlem Şube Müdürlüğü	Günlük
	P	S				
	I	V				
GES projesi kapsamında elde edilen sonuçlar****	A	PDF			Eshot Yazılım Şube Müdürlüğü	Haftalık
	P					
	I					
<i>Enerji</i>						
GES projesi kapsamında elde edilen sonuçlar****	A	PDF			Eshot Yazılım Şube Müdürlüğü	Haftalık
	P					
	I					
<i>Yaşam</i>						
Kültür Sanat Etkinlikleri	C	X	A	P	Kültür ve Sanat Şube Müdürlüğü	Günlük
	S	L	P	D		
	V	S	I	F		
		X				
<i>Sosyal Belediyecilik</i>						

Kadın Sığınmaevleri	C	XLSX	İzBB Kadın Çalışmaları Şube Müdürlüğü	Yıllık
---------------------	---	------	---------------------------------------	--------

*İzBB=İzmir Büyükşehir Belediyesi ** Geçmişe ait veri bulunmakta
Geçmişe ait veri bulunmamakta * Tekrar eden veri seti

Kategorilere ait yapılan inceleme sonunda sözel ve sayısal ölçümsel bulgu ve saptamaların yer aldığı cvs, xlsx, pdf gibi dosyalar tekrar kullanılabilirlik üzere oluşturulmuş olup, mekânsal verilerin yer aldığı öngörülen Geojson uzantılı dosyalar açılmamakta, kml formatına dönüştürülmeye çalışıldığında ise herhangi bir mekânsal veri olmadığı için dönüştürülemediği hatası alınmaktadır. Bazı verilerin künyesinde (taksi durakları, Nöbetçi Eczaneler ve Eczane Listesi vb.) coğrafi veri içerdiği bilgisi yer almakta olup veri detayda incelendiğinde noktasal var olan bu verilere ait enlem ve boylam koordinatlarının yer aldığı bilgi varlığı tespit edilmiştir.

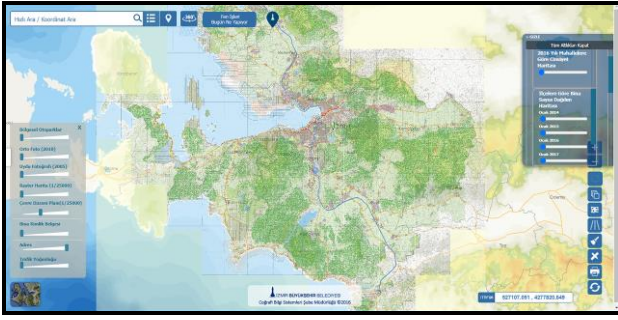
İzmir İline ilişkin portallar incelendiğinde kendini tekrar eden sayfaların farklı yönlendirmeler ile birbirine eklenmesi her ne kadar kolay bir erişim sağlamakta olsa da tek bir sayfadan tek bir yönelim kullanım açısından daha doğru bir sistem olacaktır. Bu site yönlendirmelerinde mevcut olduğu gibi açık verilerde de söz konusu. Örneğin Tablo 2’de yer alan “GES Projesi kapsamında elde edilen sonuçlar” verisi hem çevre kategorisinde hem de enerji kategorisinde yer almaktadır.

İzmir iline ait etkileşimli haritaya kentin resmi web sitesinden “2 Boyutlu Kent Rehberi” olarak ulaşım mümkündür. Ayrıca İzmir Büyükşehir Belediyesi Coğrafi Bilgi Sistemler aracılı ile yayınlanan CBS Portalı kent rehberinin anasayfası niteliindedir. Başlangıçta Kent Rehberi, Mezarlık Bilgi Sistemi, Projeler ve İletişim sekmeleri bulunmaktadır. Kent Rehberinde özellikle planlama konularına dahil ve planlama çalışmalarında kullanılabilir olan Çevre Düzeni Planı, raster harita ve İmar Planı Sorgula gibi kullanımlar mevcuttur (Bkz Şekil 7) [20]. Yalnızca önizleme seçeneğine sahip bu verilerde indirme seçeneği bulunmamakla beraber, il sınırları içerisinde yer alıp da plan onama sınırı dışında olan ve planı bulunan bölgelerin planlarının sisteme entegre olmadığı gözlemlenmiştir. Örneğin Kültür ve Turizm Merkezi ilan edilen bir bölgenin tüm plan yetkileri Kültür ve Turizm Bakanlığı’na aittir. Bakanlığa ait sayfadan planlara ulaşım mümkünken bu planların Kent Rehberine entegrasyonu bulunmamaktadır.

İzmir İlinin en yoğun ilçelerinden biri olan Konak İlçesine ilişkin açık verilerin tamamına ilçenin kendi resmi web sitesinden erişim sağlanmaktadır. Başlıca E-Belediye, duyurular, iletişim merkezi, nöbetçi eczaneler, parselasyon planları, imar planları, meclis ve encümen çalışmaları, sosyal yardım ve evlilik işlemleri hizmetleri anasayfada yer almaktadır [21].

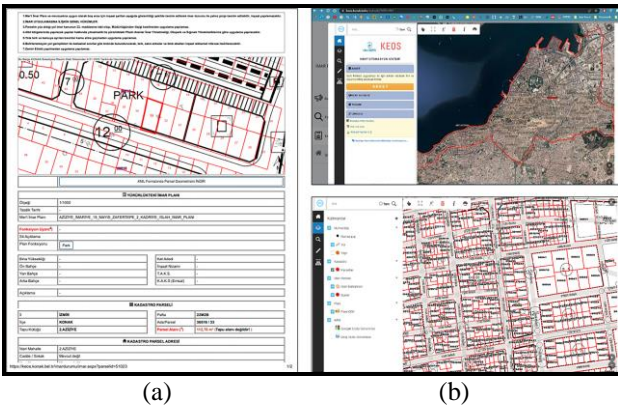
Planlamaya ilişkin sekmeler kontrol edildiğinde imar planlarında veri güncel tutulmakta olup onaylı planlara ilişkin Meclis Karar sayı tarihi, askıya iniş ve çıkış tarihi gibi bilgiler de bulunmaktadır. 2016 yılına kadar var olan

onaylı planların paftaları yalnızca özizlenebilmektedir. Parselasyon planlarında ise hiç yükleme bulunmamaktadır [21].



Şekil 7. İzmir İli Etkileşimli Harita (2 Boyutlu Kent Rehberi) (Izmir Province Interactive Map (2D City Guide))

Konak İlçesine ait mekânsal verilerin yansıtıldığı iki farklı erişim bulunmaktadır. Birincisi Konak İmar Durumu sayfasından bilgilerine ulaşmak istenilen taşınmazın adres/ada/parsel gibi lokasyon bilgilerinin girilmesinden sonra tek sayfalık bilgi amaçlı edinilen pdf dosyadan ibarettir. (Bkz Şekil 8a) [22]. Bu dosyada yalnızca bağlı olduğu plan ve bu plana dair bilgiler yer almaktadır. İkincisi; etkileşimli harita erişimi için ise Konak Belediyesi İmar Planı Tadilatı Web Askı İlanı sekmesinden “Kesinleşen Tadilatlar” ile açılan sayfadaki harita ikonuna tıklayarak ulaşılmaktadır (Bkz Şekil 8b) [23].



Şekil 8. Konak İlçesi İmar Durumu Bilgisi (Konak District Zoning Status Information)

Bu Kent Otomasyon Sisteminde İdari Sınırlar (Mahalleler ve İlçeler), 1/1000 ölçekli onaylı Uygulama İmar Planı, Kadastro ve Uydu Görüntüsü (Altlık) katman olarak yer almaktadır. Ayrıca harita üzerinden sorgulama, çizim, yazdırma işlemleri yapılabilmektedir. Bilgi al aracı ile yapıların sorgulamada yapı ve uydu ile çekilmiş sokak görüntülerinin fotoğraflarına ulaşmak ve indirmek mümkündür [23].

3.7. Sidney Kenti (Sydney City)

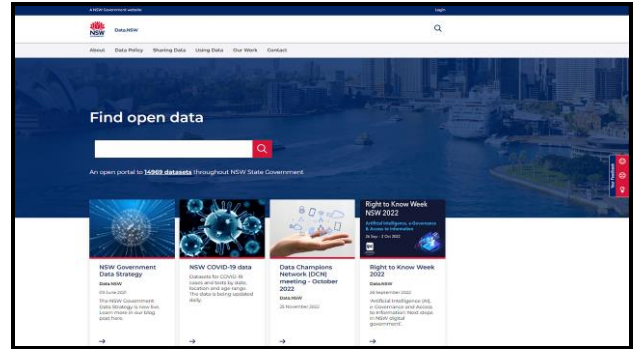
Avustralya Ülkesi, altı eyalet ve üç bölge yönetimi bulunan Federal bir devlettir. Bu yönetimler, Queensland,

Australian Capital Territory, New South Wales, Güney Avustralya, Tasmania, Victoria, Batı Avustralya ve Kuzey Bölgesi'dir. Yerel yönetimler bu bölge ve eyalet yönetimlerine bağlı olarak hizmet ve faaliyet göstermektedir. Yerel yönetimlerin hukuki zemini ise, bölge ya da eyalet yönetimlerinin yasal mevzuatları zeminine oturtulmakta; bu birimlere konsey ismi verilmektedir. Bu bağlamda, New South Wales (NSW) eyaleti faaliyet gösteren 152 konseyden birisidir [24].

Aralık Ayı 2016 yılında halka çeşitli formatlarda bilgi erişimi sağlamak, hükümet için şeffaf ve hesap verebilirliği artıran kanıta dayalı politika geliştirmesi ile NSW Açık Veri Politikasının başlatılmıştır [25].

Avustralya'nın en eski yerleşim merkezlerinden biri olan City of Sydney aynı zamanda tanınmış kültür ve sanat merkezlerinden biridir. 25 km² büyüklüğünde olan; 214.851 kişi nüfusu ve yaklaşık 85 kişi/ha yoğunluğu ile ülkenin en kalabalık kentidir [26].

NSW açık veri portalındaki kategoriler şunlardır: Covid-19, Orman Yangını, Eğitim, Ulaşım, API Kataloğu, Çevre, Planlama ve Mekansal Programlar (Bkz. Şekil 9) [27].



Şekil 9. NSW Açık Veri Portalı (NSW Open Data Portal)

Açık veri portalına ilişkin kategoriler incelendiğinde Tablo 3'te kente ait ücretsiz erişimi mümkün indirilebilir ve görüntülenebilir verilerden en çeşitli olan setler örnek teşkil etmesi açısından detayda incelenmiştir [27].

Tablo 3. NSW Açık Veri Portalı örnek veri setleri ve durumu (NSW Open Data Portal sample datasets and status)

Veri Adı	Veri Türü	Kaynağı	Güncelik
<i>Covid-19</i>			
Covid-19 klinikleri	C S V	A P I	Grafik
			NSW Sağlık Bakanlığı
			Düzensiz
Yaş aralığına göre NSW Covid-19	C S V	A P I	Grafik
			NSW Sağlık Bakanlığı
			Haftalık
<i>API Kataloğu</i>			
Açık Veri Merkezini Aktarma	A P I	BASIC	NSW Ulaşım
			Günlük

Bisiklet Altyapı Haritası	H T M L	GeoJSON	İzBB Sürdürülebilir Ulaşım Planlama API NSW	Düzensiz
Ticaret	API		API NSW	Eski veri
<i>Çevre</i>				
Çevre raporunun durumu	PDF		Planlama ve Çevre Dairesi Başkanlığı	Eski veri
Planlama ve Çevre Kümesi Ofisleri	P D F	ZIP: sbn, sbx, shp, xml, shx, cpg, dbf, prj, (Ofis yerleri)	Planlama ve Çevre Dairesi Başkanlığı	İhtiyaç dahilinde
<i>Planlama</i>				
Bölge Sınırlarının planlanma	P D F	W M S	WFS GIS	Planlama ve Çevre Dairesi Başkanlığı
Çevre Planlama Aracı-taşkın	P D F	W M S	G I F S O V T L S İ D	Planlama ve Çevre Dairesi Başkanlığı
<i>Mekansal Programlar</i>				
Devlet Çevresel Planlama Politikası	P D F	G I S	WMS W F S	Planlama ve Çevre Dairesi Başkanlığı

Bu kategorilere ait yapılan inceleme sonunda hem sayısal hem sözel hem de mekânsal verilerin yer aldığı cvs, xls, pdf, shp, wfs, wms gibi esri mapserver aracılığı dosyalar tekrar kullanılabilir üzere hem görüntülenebilir hem de indirilebilir olarak oluşturulmuştur. Sözel ve sayısal bulgulara dayalı araştırma ve analiz çalışmaları sonucunda sitede dinamik bir grafik yapısı; mekansal veriler için ise hareketli bir harita özizlemesi bulunmaktadır [27].

NSW Eyaleti, Avustralya Ülkesi ve Sidney Kentine ait birden fazla erişimi bulunan ve farklı tematik haritalara sahip olan etkileşimli haritalar mevcuttur (Bkz. Şekil 10).

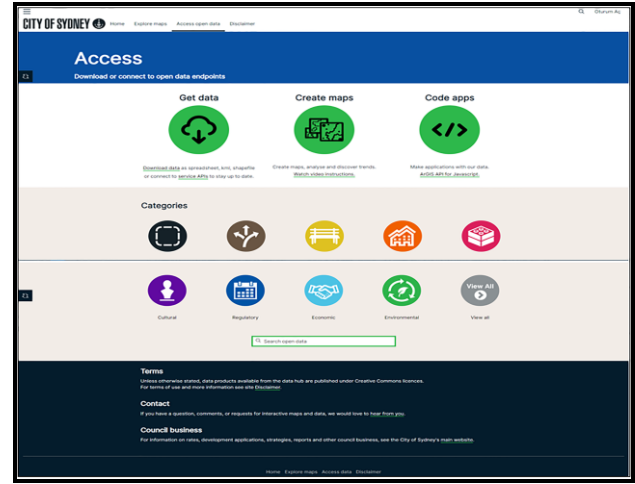
Hükümetin kendi resmi sitesi uzantılı olan etkileşimli harita da Yönetim, Biyoçeşitlilik Değerler Haritası, Temel Planlama Katmanları, Devlet Çevre Planlama Politikaları, Tehlike, koruma, jeoloji, halka açık yerler, devlet mülkü endeksi gibi katmanlar yer almaktadır [27].



Şekil 10. NSW Hükümetine ait Etkileşimli Haritalar (NSW Government Interactive Maps)

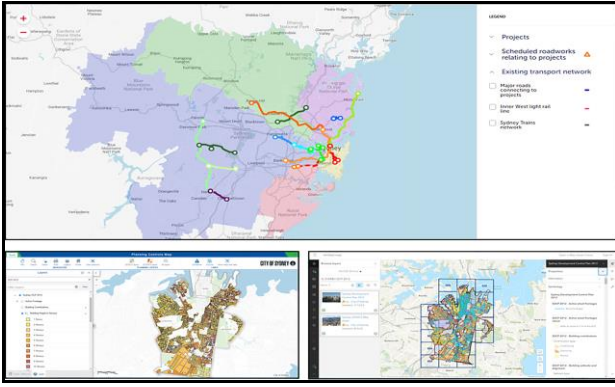
SIX Maps görüntüleyici, sezgisel bir genel arayüz aracılığıyla bir dizi NSW birincil mekansal verisine erişim sağlamakta. Kadastro, Topografik, Görüntü, Yer Adları ve Adresleme verileri görüntülenen verilerdir. Veri katmanlarını ve harita bölümlerini analiz etme, düzenleme, görselleştirme, ölçme ve seçme gibi araçlara sahip. Ayrıca NSW'deki tarihi hava fotoğrafçılığı ürünlerini bulmasını ve görüntülemesini sağlamaktadır. Kentsel çevrimiçi bir ortamda 3B ve 4B mekansal verileri görüntülemek için oluşturulmuş etkileşimli bir platformdur.

Sidney kent merkezi için resmi websitesinde Atık ve geri dönüşüm, bina inşaatı, ulaşım ve park etme, evcil hayvan ve hayvan hizmetleri, iş izinleri ve onayları gibi hizmetler yer almaktadır [28]. Sidney açık veri portalına (Bkz. Şekil 11) erişildiğinde ise yer alan veriler: İdari Sınırlar, ulaşım ve erişim, kamu malı, planlama, kültürel ve ekonomik kategorileri altında bulunan 179 adet veri seti bulunmaktadır. Bu sayfadan argGIS (Esri) sayfasına kendi tematik haritanı üretebilmek üzere bir yönlendirme bulunmaktadır. Buradan tüm veriler GIS ile entegre halde indirilebilmektedir [28].



Şekil 11. Sidney Kenti Açık Veri Portalı (City of Sydney Open Data Portal)

Sidney Kent Merkezine ait etkileşimli haritada ise yerel planları olan Yerel Çevre Planı (Local Environmental Plan-LEP) ve Geliştirme Kontrol Planları (Development Control Plan-DCP) planları ve bu planlara ait tüm katmanlar yer almaktadır (Şekil 12). Bu katmanlar ve analizleri yine GIS olarak uyumlu olarak indirilebilir ve görüntülenebilir formattadır. Veriler indirilerek çalışabilirliği kontrol edilmiş olup sorunsuz şekilde kullanılabilirliği tespit edilmiştir [29].



Şekil 12. Sidney Etkileşimli Harita
(Sydney Interactive Map)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

İzmir ve Sidney kentlerinin açık veri portalları, kullanıcılar için bilgilere erişim sağlayan ve veri paylaşımını destekleyen platformlardır. Fakat hizmet şekli ve veri çeşitliliği/kalitesi gibi farklı sunum politikalarına sahiptirler.

Tüm yapılan araştırmalar ve incelemeler sonucunda bulguları karşılaştırılmıştır. Tablo 4'te çalışma kapsamında bölgelerin seçim kriterlerinin göz önünde bulundurulduğu Yüzölçümü ve Nüfus verileri karşılıklı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. Karşılaştırma Ölçeği
(Comparison Scale)

	İzmir Bilgileri	Sidney Bilgileri
Ülke	Türkiye	Avustralya
Ülke Yüzölçümü	783.356 km ²	7.692.024 km ²
Ülke Nüfusu	84.680.273 kişi	25.726.900 kişi
Bölge/ Eyalet	Ege	New South Wales
Bölge Yüzölçümü	90.251 km ²	801.150 km ²
Bölge Nüfusu	10.477.153 kişi	8.172.500 kişi
İl	İzmir	Greater Sydney
İl Yüzölçümü	11.891 km ²	12.368 km ²
İl Nüfusu	4.425.789 kişi	5.231.150 kişi
İlçe	Konak	City of Sydney
İlçe Yüzölçümü	25 km ²	214.851 kişi
İlçe Nüfusu	363.181 kişi	25 km ²

Tablo 5'te daha küçük ölçeğe ait olan Bölge ve İl bazında yapılan portalların genel görünüm, kullanım kolaylığı, açık veri, veri stoğu, veri kullanımı ve etkileşimli haritalar gibi hakkında elde edilen bulgular yer almaktadır.

Sidney açık veri portalında idari sınırlar, ulaşım, planlama, çevre, kültürel gibi kategoriler altında yer alan veriler hem görüntülenebilir hem de indirilebilir kullanıma açık farklı formatlar (kml, geojson, cpg, dbf, shp, shx, xls vb) şeklinde yer almaktadır. WGS84 sisteminde koordinatlandırılmış Sidney Kenti Yerel Çevre Planı ve Kalkınma Kontrol Planı lejantı ile 1/1000 ölçekte detaylandırılmış bir şekilde görüntülenebilir, katmanları ise ayrı ayrı indirilebilir şekilde mevcuttur. Yapılı çevre için arazi kullanım

planlamasına ilişkin tüm detayların yer aldığı raporlar da (pdf) indirilebilir şekilde sunulmaktadır. Portal kullanıcıların veri setlerini keşfetmesini, indirmesini ve yeniden kullanmasını desteklemektedir.

İzmir Kenti için ise açık veri portalı çeşitli veri kümelerini, istatistikleri ve coğrafi verileri sunmaktadır. Portal kullanıcı dostu bir arayüze sahip olup, verilere kolay erişim sağlamayı hedeflemektedir. İzmir'in açık veri portalı, belediyenin ve diğer kurumların paylaştığı verileri kapsayan geniş bir veri yelpazesine sahiptir. İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin farklı paydaşlar ile organize ettiği ve paylaşımına açtığı afet ve acil durum yönetimi, yaşam, hareketlilik, çevre, enerji ve tarım gibi başlıklarda veri setleri bulunmaktadır. Bu başlıkların altında toplanan veriler farklı formatlarda (api, csv, xls, pdf) indirilebilir şekilde paylaşılmaktadır. ITRF96 sisteminde koordinatlandırılmış kent haritası üzerinde ise bölgesel otoparklar, Çevre Düzeni Planı, raster harita gibi 1/25.000 ölçekte sunulmuş görüntü kaplamaları ve ilçelere göre yapılmış yıllara göre bazı analizler yalnızca görüntülenebilir şekilde yer almaktadır.

Tablo 5. Bölge/İl bazında (İzmir İli-NSW Eyaleti) yapılan portal karşılaştırması (Portal comparison on the basis of Region/Province (İzmir Province-NSW Province))

	Ege Bölgesi İzmir	New South Wales Greater Sydney
Karşılaştırılan Platform Bölge/İl Bazında		
Nüfus	4.425.789 kişi	5.231.150 kişi
Yüzölçümü	11.891 km ²	12.368 km ²
Kuruluş Yılı	1868	1842
Açık Veri Portal Yılı	2021	2016
Üyelik	Var	Var
Görsel Kalitesi	Yüksek Seviye	Orta Seviye
Kullanım Kolaylığı	Çok fazla yönlendirme içermekte. Karmaşık ve dağınık	
Veri Stoğu	Var	Var
Erişilebilirlik	Zor	Zor
Veriyi görüntüleyebilme	Mevcut	Mevcut
Veriyi indirebilme	Mevcut	Mevcut
Veri Kategori Sayısı	10	8
Veri Kategorileri	Afet/Acil Durum Yönetimi, Hareketlilik, Çevre, Tarım, Enerji, Yaşam, Sosyal Belediyecilik, Yönetişim, Ekonomi ve Kriz Belediyeciliği	Covid-19, Orman Yangını, Eğitim, Ulaşım, API Kataloğu, Çevre, Planlama ve Mekansal Programlar
Veri set sayısı	176	~11.309
İndirilebilir Veri Formatı	CVS, API, XLSX, Geojson, Json, PDF, HTML	PDF, WMS, ESRI MAPSERVER, WFS, DÜZ, STYLE, SLD, JSON, SHP,
Geçmişe dair veriler	Var	Var
E-Belediye hizmetleri	Var	Var
Etkileşimli Harita (EH)	Var-Düşük sayıda içerik	Var-Yüksek sayıda içerik
EH a erişim	Zor	Zor
Entegrasyon	GIS	GIS
Mekansal Veri Format	Yok (Koordinatlar mevcut)	Var

Mekansal Veri İndirme	Yok	Var
Veri İstek Bölümü	Var	Yok
EH de detay kullanımlar	Arama, Panoramik Görüntü, Fen İşleri Bugün Ne yapıyor, Büyült-Küçült, Pafta İndeksi, İmar Planı Sorgula, İBB Sorumluluğundaki Yollar, Ölçüm, Ekranı temizle, Yazdır, Canlı Veritabanı	Yönetim, Biyoçeşitlilik Değerler Haritası, Temel Planlama Katmanları, Devlet Çevre Planlama Politikaları, Tehlike, koruma, jeoloji, halka açık yerler, devlet mülkü endeksi
Koordinat düzlemi	IRTF96	WGS84
EH İşbirlikçileri	İzBB	ESRI, SEED, SIX

*Güncel veri değil.

Not: Greater Sydney'e ait yerel site kapalı olduğu için karşılaştırma NSW resmi sitesi ile yapılmıştır.

Tablo 6'da ise daha yerel ölçekte yer alan açık veri portalı ve etkileşimli haritaya ilişkin bulguların karşılaştırıldığı bilgiler yer almaktadır.

Tablo 6. İlçe bazında (Konak İlçesi-City of Sydney) yapılan portal karşılaştırması (Portal comparison by district (Konak District-City of Sydney))

	Konak İlçesi	City of Sydney
Karşılaştırılan Platform İlçe Bazında		
Nüfus	363.181 kişi	214.851 kişi
Yüzölçümü	25 km ²	25 km ²
Kuruluş Yılı	1987	1842
Üyelik	Var	Yok
Kullanım Kolaylığı	Kolay	Kolay
Ölçek	1/1000	1/1000, 1/5000
Veri Stoğu	Yok	Var
Veriyi görüntüleyebilme	Var	Var
Veriyi indirebilme	Yok	Var
Veri Kategori Sayısı	9	9
Veri Kategorileri	E-Belediye, duyurular, nöbetçi eczaneler, evlilik işlemleri, parselasyon planları, imar planları, meclis ve encümen çalışmaları, sosyal yardım ve iletişim merkezi	İdari Sınırlar, ulaşım ve erişim, kamu malı, planlama, kültürel ve ekonomik, toplum, düzenleyici, çevresel
Veri set sayısı	-	179
Geçmişe dair veriler	İmar Planlarında var	Yok
E-Belediye hizmetleri	Yardım, Ödeme işlemleri, Beyan İşlemleri, Sorgulama İşlemleri. Diğer İşlemler	Konut veya işyeri park izni talebi, fatura/ceza ödeme,
Etkileşimli Harita (EH)	Var	Var
Entegrasyon	Netcad	GIS
Mekansal Veri Format	Yok	Var
Harita Temaları	Numarataj, Kadastro, İdari Sınırlar, Plan, Altlık	LEP ve DCP, Koruma Alanları, atık toplama, bisiklet kullanımı, sokaklara göre araç kullanım sayısı ve oranları,

EH de detay kullanımlar	Kategoriler, Arama, Çizim, Acil Toplanma Alanları	Arama, sorgu, seçme, yazdırma, katmanlar,
Koordinat düzlemi	IRTF96	WGS84

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION)

Günümüzde artık açık veriler çok değerli kabul edilmektedir çünkü kamuya açık bilgilerin kullanımının teşvik edilmesi şeffaflık, yenilikçilik ve diğer sosyal, politik ve ekonomik faydaları da beraberinde getirmektedir. Bu veri stoğunun birlikte ve yeniden; etkileşimli ve dinamik olarak kullanılabilmesi disiplinler arası çalışmalara da altlık oluşturmaktadır.

Bu çalışmada literatür taraması ve incelenen örnek portallardan yararlanılarak açık veri paylaşımının ve etkileşimli harita verilerinin nasıl daha fazla yarar sağlayabileceğine yönelik bulgular gözlemlenmiştir. Gerek kamuda gerek özel sektörün çeşitli alanlarında kullanılabilir açık verilerin varlığı tespit edilmiştir. Özellikle planlama çalışmalarında kullanımı gerekli verilerin açık verilerde yer alıyor olması umut verici olsa da yapılan incelemeler sonrasında henüz uygulamaya yeni entegre olduğundan sistemlerin komplike bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

CBS, yüksek hassasiyet ile oluşturulmuş doğru mekânsal veriyi tekrar kullanılabilir şekilde üretmekte ve coğrafi bilgileri toplumsal alanda mevcut ve olası şekilde analiz etmeyi sağlamaktadır. Veri, gelişmiş analizlerle daha kolay anlaşılabilir bilgiye dönüşmektedir. Minimum riske sahip plan ve projelerin gerçekleştirilebilmesi için en hızlı ve etkin çözüm coğrafi bilgiye sahip oluşturulan analizlerden oluşturulmaktadır. Planlamayı oluşturan tüm temel boyutlar mekânsal verinin varlığı ve kullanımı ile gerçekleşmektedir. Mekansal verinin ve bu veri ile oluşturulmuş bütün yersel bilgiler imar çalışmaları, konut projeleri, suç analizi, altyapı yönetimi, salgın takibi, kitle kaynak yönetimi gibi çalışmalarda kullanılabilirliktedir.

Açık veri portalları ve etkileşimli haritalar karşılaştırmalı olarak incelendiğinde; Türkiye'de mekânsal verinin mevcudiyeti görülmekte olup bu verilerin paylaşımına (indirilebilir kapsamda) açık olmadığı; Avustralya'da ise mekansal verilerin açık erişimde kullanımının yaygın olduğu tespit edilmiştir. Fakat Avustralya'da da veriler oldukça eski kalmıştır. Bu da verinin indirilebilir olsa bile kullanılabilirliğini azalmaktadır. Her iki örnekte de verilerin güncelliği, ilgili sayfalara erişim kolaylığı, veri kapasitesi sorgulanmalıdır.

Türkiye'de Avustralya'ya ait etkileşimli haritaya erişim birçok ve farklı kaynaktan mümkündür ayrıca söz konusu haritanın arcGIS sitesi ile direkt entegre oluşu; tercih ve isteğe göre tematik haritaların oluşturulabilmesi için sistemi elverişli bir platform haline getirmektedir. Bunun için site yönlendirmesi ile öğretici video ve kaynaklar da bulunmaktadır. Ülkemizde de her portal ve kullanımına özel yönlendirmeler veya ortak dil birliği olmalıdır.

Açık veri portallarının var oluşu ile veri paylaşımındaki çaba gözlemlenmektedir. Fakat bu verilerin entegre ve yeniden kullanılabilirliği, veri kümelerinde hangi bilgilerin bulunduğu ve bu bilgilerin değer ve önem sıralaması, metaverinin açıklanmış detaylı standartlarla belirlenmesi gözden geçirilmeli ve bağlantılı verilerin birbiri ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca ilgili verilerin düzenlenmesi ve yayınlanması için ilgili kurumun her departman/biriminde sorumlu yetkili bulunmalıdır.

Açık verilerin minimum kısıtlamalarla sağlanması zorunluluğu göz önüne alındığında açık verilerin paylaşımı konusunda ek zorluklar ortaya çıkmaktadır. Fakat açık verinin değeri erişim ile sınırlı olmamalıdır. Açık verinin detaylandırılması ve bu detayda paylaşımına açılması ilgili kurum ve kuruluş için hem kapsamlı bir arşiv hem de kurumların yapacağı gelecek çalışmalara öncülük edecek bilgiler olduğu düşünülmektedir.

Açık verinin paylaşımı ile ilgili şablon niteliğinde ortak dilde veri sunumunu kapsayan bir mevzuat önerisi ve buna eklenen kimliksel veriler ile tüm portallara hem erişimde hem de sekmeler arası ilerlemede kullanım kolaylığı sağlayacaktır.

Bu çalışma açık verinin ve etkileşimli haritaların planlama çalışmalarında kullanılmasına yönelik gerçekleştirilen ilk çalışmalar kapsamındadır. Devamında yapılacak olan tüm uygulamalı veya kuramsal araştırmalara öncü olması beklenmektedir. Böylelikle, planlama çerçevesinde yapılacak olan çalışmaların sayısının artmasının hem ilgili uygulamalara hem mevcut portallara gerekli iyileştirmelerin yapılacak olması ve de planlama çalışmalarında GIS entegrasyonunun daha kullanılabilir olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ş. Kaya, T. Okul, G. Şimşek, "Açık Veri İdeolojisi ile Turizm X. 0 Stratejilerinin Değerlendirilmesi", *Journal of New Tourism Trends (JOINNTT)*, 1(1), 1-13, 2020.
- [2] M. Lnenicka, "An in-depth analysis of open data portals as an emerging public e-service", *International Journal of Humanities and Social Sciences*, 9(2), 589-599, 2015.
- [3] C. González-Mora, I. Garrigós, J. Zubcoff, An apification approach to facilitate the access and reuse of open data, **Web Engineering: 20th International Conference, ICWE 2020**, Helsinki, Finlandiya, 512-518, 9-12 Haziran 2020.
- [4] M. Kostovski, M. Jovanovik, D. Trajanov, "Open data portal based on semantic Web Technologies", **In Proceedings of the 7th South East European Doctoral Student Conference**, University of Sheffield, Yunanistan, 1-13, 25 Eylül 2012.
- [5] S. Önen, S. Karatepe, M. Ozan, "E-Belediyecilik Çalışmaları Kapsamında Web Sitesi Uygulamaları: İki Farklı Ülke Belediyesi Üzerinden Bir Karşılaştırma", **Kent Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar ve Etkin Belediyecilik Uygulamaları**, Editör: M. Mecek, B. Parlak, E. Atasoy, 1225-1236, Ankara, Nobel Yayıncılık, 2018.
- [6] U. Ünlü, "Sosyal belediyecilik anlayışının e-belediyecilik uygulamalarına entegre edilmesi", *Sayıştay Dergisi*, 102, 63-89, 2016.
- [7] A. Şahin, "Türkiye'de e-belediye uygulamaları ve Konya örneği", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 29, 161-189, 2007.
- [8] M. Erbaş, Z. Alkış, "Web tabanlı veri düzenleme ve etkileşimli harita sunumu uygulaması", *Harita Dergisi*, 72(133), 43-52, 2005.
- [9] X. Lu, "An investigation on service-oriented architecture for constructing distributed web gis application", **In 2005 IEEE International Conference on Services Computing**, Vol-1, 191-197, 2005.
- [10] P. Fu, J. Sun, **GIS in the Web Era**, Web GIS: Principles and applications, 1-24, 2011
- [11] H. Olcan, Z. Şeker, Z. "Kentsel Planlamada Çevre Düzeni Plan Sürecinde CBS'nin Kullanım Olanaklarının Değerlendirilmesi ve Uygulama Sistemi Geliştirilmesi". *Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi* (s. 37-41). Trabzon: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 2007
- [12] S. Çabuk, "CBS'nin Yerel Yönetimlerde Kullanımı ve Kent Bilgi Sistemleri", *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3), 69-87, 2015.
- [13] T.C. İçişleri Bakanlığı, **Coğrafi Tabanlı İl-Kent Yönetim ve Bilgi Sistemi Teknik Kılavuzu**, 2007.
- [14] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, **Belediyeler ve İl Özel İdarelerinin Kuracakları KBS Hakkında Mevzuat Raporu**, 2012
- [15] İnternet: Wikipedia, <https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0zmir>, 08.01.2023
- [16] İnternet: Wikipedia, https://tr.wikipedia.org/wiki/Konak_%C4%B0zmir, 08.01.2023
- [17] İnternet: İzmir Büyükşehir Belediyesi, <https://www.bizizmir.com/>, 09.01.2023
- [18] İnternet: İzmir Büyükşehir Belediyesi, <https://www.izmir.bel.tr/>, 09.01.2023
- [19] İnternet: İzmir Büyükşehir Belediyesi, <https://acikveri.bizizmir.com/>, 09.01.2023
- [20] İnternet: İzmir Büyükşehir Belediyesi, https://cbs.izmir.bel.tr/cbs_portal/, 13.11.2022
- [21] İnternet: Konak Belediyesi, <https://www.konak.bel.tr/>, 13.11.2022
- [22] İnternet: Konak Belediyesi & Netcad, <https://keos.konak.bel.tr/imardurumu/>, 09.01.2023
- [23] İnternet: Konak Belediyesi & Netcad, <https://keos.konak.bel.tr/webaski/?MID=96#/>, 09.01.2023
- [24] O. Akçakaya, "Toronto ve Sidney yerel yönetimlerinin stratejik yönetim süreçleri üzerine mukayeseli bir inceleme", *Batman Üniversitesi Yaşam B İnternet: ilimleri Dergisi*, 6(2/1), 65-80, 2016.
- [25] NSW, <https://www.ipc.nsw.gov.au/information-access/open-government-open-data>, 08.01.2023
- [26] İnternet: NSW Hükümeti, <https://www.nsw.gov.au/>, 09.01.2023

[27] Internet: NSW Hükümeti, <https://data.nsw.gov.au/>, 09.01.2023

[28] Internet: City of Sydney, <https://data.cityofsydney.nsw.gov.au/>, 13.11.2022

[29] Internet: City of Sydney, <https://cityofsydney.maps.arcgis.com/home/index.html>, 13.11.2022

Siber Güvenlik Araştırmalarına Küresel Bir Bakış: Yayın Trendleri ve Araştırma Yönelimleri

Araştırma Makalesi/Research Article

 Tuğçe KARAYEL¹,  Adem AKBIYIK²

¹Yönetim Bilişim Sistemleri, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
²Yönetim Bilişim Sistemleri, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

tugce.aslan2@ogr.sakarya.edu.tr, adema@sakarya.edu.tr

(Geliş/Received:03.05.2023; Kabul/Accepted:21.06.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1291783

Özet--Makale, Web of Science'ın veritabanında indekslenen siber güvenlik ve bilgi güvenliği araştırmalarının kapsamlı bir bibliyometrik analizini sunmaktadır. Siber güvenlik, son zamanların ilgi odağı olan popüler bir araştırma konusudur. Alandaki küresel araştırma verimliliğini ve gelişimini incelemek için 1980 ve 2021 yılları arasında yayınlanan 4252 makale R tabanlı Biblioshiny paket programı ile analiz edilmiştir. Siber güvenlik alanındaki yayınlanan araştırmalar yıllara göre giderek artan bir eğilim gösterirken bilgi güvenliği ile ilgili olan yayınlar giderek azalan bir eğim göstermiştir. Alanın kavramsal yapısı incelendiğinde, son dönemin en dikkat çekici araştırma konuları “siber güvenlik farkındalığı” ve “siber fiziksel sistemler” olduğu bulunmuştur. Ek olarak alanın tematik ağ haritası incelendiğinde bilgi güvenliği teması alanın sosyal boyutunu ifade eden bilgi güvenliği farkındalığı, bilgi güvenliği yönetimi, bilgi güvenliği politikaları, bilgi güvenliği kültürü konularıyla daha çok çalışılmıştır. Siber güvenlik teması ise alanın teknik tarafını ifade eden yapay zeka, büyük veri, blokzincir, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi konularla daha çok çalışıldığı ortaya çıkmıştır. Çalışmanın bulguları, araştırmacılara, bilgi teknolojisi uzmanlarına ve bilgi uzmanlarına, siber güvenlik alanındaki araştırma ilerlemesine ve yeni araştırma konularını belirlemede yardımcı olabileceği ön görülmektedir.

Anahtar Kelimeler-- siber güvenlik, bilgi güvenliği, bilgi sistemleri güvenliği, bibliyometri, biblioshiny

A Global Perspective of Cybersecurity Research: Publication Trends and Research Directions

Abstract-- The article presents a comprehensive bibliometric analysis of cybersecurity and information security research indexed in the Web of Science database. Cybersecurity is a popular research topic that has been the focus of recent attention in recent times. To examine the global research efficiency and development in the field, 4252 articles published between 1980 and 2021 were analyzed with the R-based Biblioshiny package program. While cybersecurity-related publications have shown an increasing trend over the years, publications related to information security have shown a decreasing trend. When the conceptual structure of the field was examined, the most notable research topics in recent years were found to be "cybersecurity awareness" and "cyber-physical systems. Additionally, when the thematic network map of the field was examined, it was observed that topics related to the social dimension of information security such as information security awareness, information security management, information security policies, and information security culture are studied more. On the other hand, it was revealed that topics related to the technical side of cybersecurity such as artificial intelligence, big data, blockchain, machine learning, and deep learning are studied more. The findings of the study are expected to help researchers, information technology experts, and information professionals in advancing research in the field of cybersecurity and identifying new research topics.

Keywords—cyber-security, information security, information systems security, bibliometry, biblioshiny

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kurumların, bireylerin ve toplumların siber saldırılar tarafından tehdit edildiği modern dünyada [1] siber saldırılara karşı mücadele etmek ve saldırıların hızına ayak uydurmak her geçen gün daha da zorlaşmaktadır [2], [3]. Statista'nın hazırlanmış olduğu bir rapora göre, dünya nüfusunun yaklaşık %62'si interneti aktif olarak kullanmaktadır [4]. İnternet kullanıcılarının internete erişmek için kullandıkları cihazlar incelendiğinde kullanıcıların neredeyse %91'inin akıllı telefonları kullandığını, %71'inin laptop ve/veya masaüstü bilgisayarlarını, %30'unun akıllı TV'leri ve %14'ünün diğer akıllı ev cihazlarını kullandığını bulunmuştur [5]. İnternete bağlanan bilgi işlem cihazlarının artmasıyla güvenlik sorunları da artmaktadır [6]. Genel olarak küresel internet kullanıcılarının yarısından fazlası siber saldırı yaşamıştır [7]. Operasyonel teknoloji saldırıları yıldan yıla %2.000 artmaktadır [8]. Siber güvenlik, siber saldırıları önlemeye yardımcı olabileceği için şu anda geniş bir paydaş yelpazesinde büyük ilgi gören ve dikkat çeken, sonuçları ve etkileri küresel olan bir alandır [9]. Bu nedenle, söz konusu bu alandaki bibliyometrik değerlendirmelerin yapılması büyük önem taşımaktadır.

Çalışmanın amacı, siber güvenlik ile ilgili alan dinamiklerini ve son araştırma eğilimlerini ortaya koymaktır. Makalede araç olarak Web of Science Core Collection veri tabanı kullanılmıştır. Web of Science Core Collection veri tabanından elde edilen veriler, siber güvenlik alanının zaman içinde gelişimini detaylı bir şekilde inceleme imkânı sunmakta ve konuyla ilgili bilimsel haritalamayı ortaya çıkarmaktadır. Çalışmanın amacı, siber güvenlik ile ilgili alan dinamiklerini ve son araştırma eğilimlerini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda alanın performans göstergeleri, kavramsal ve tematik yapısı incelemek ve anlamak için bibliyometrik analiz yapılmıştır. Bu araştırmacının amacı doğrultusunda aşağıdaki sorulara cevap aranacaktır;

- Siber güvenlik ile ilgili yayınların kavramsal yapısı nasıldır ve ön plana çıkan unsurlar nelerdir?
- Siber güvenlik ile ilgili yayınların performans göstergeleri nelerdir? (En çok katkı sunan yayınlar, dergiler, ülkeler, atıf alan yazarlar)
- Siber güvenlik ile ilgili yayınların tematik gelişim haritasında ön plana çıkan unsurlar nelerdir?

Araştırma sonuçlarının siber güvenlik alanına ve ilgili alanda çalışan araştırmacılara günümüz ve geleceğe dair ipuçları sunarak katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Siber güvenlik ile ilgili farklı ülkelerden yazarlar tarafından alanın mevcut yapısının derinlemesine incelenmesini sağlayan bibliyometrik çalışmalar

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ (LITERATURE REVIEW)

2.1. Siber Güvenlik (Cyber Security)

Dijital çağda kurumlardaki bilgisayarlarda ve diğer cihazlarda depolanan veri miktarları çok büyük boyutlara ulaşmıştır. Artan veri miktarı beraberinde güvenlik sorunlarını da getirmiştir. Siber güvenlik küresel bir sorundur ve uzmanlar, gün geçtikçe artan güvenlik sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır [10]. Siber güvenlik için farklı ve birçok tanımlama vardır, bunlardan biri de Kaspersky'nin tanımıdır. Kaspersky siber güvenliği, bilgisayarları, sunucuları, mobil cihazları, elektronik sistemleri, ağları ve verileri kötü niyetli saldırılara karşı koruma uygulaması olarak tanımlamaktadır. Bilgi teknolojisi güvenliği veya elektronik bilgi güvenliği olarak da bilinir [11], [12]. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) siber güvenliği şu şekilde tanımlamaktadır: Siber güvenlik, organizasyonu ve kullanıcı varlıklarını korumak için kullanılacak araçlar, politikalar, güvenlik önlemleri, yönergeler, risk yönetimi yaklaşımları, eylemler, eğitim, en iyi uygulamalar, güvence ve teknolojilerin bütünüdür [13]. Organizasyon ve kullanıcının varlıkları, bilgi işlem cihazlarını, personeli, altyapıyı, uygulamaları, hizmetleri, telekomünikasyon sistemlerini ve siber ortamda iletilen veya depolanan verileri/bilgileri içermektedir. Başka bir tanımlamaya göre ise, siber güvenlik, siber ortamdaki ilgili güvenlik risklerine karşı kuruluşun ve kullanıcı varlıklarının güvence altına alınmasını ve bu güvencenin sürdürülmesini sağlamaya çalışır [14]. Kısaca siber güvenlik, bilgi işlem cihazlarını veya kullanıcı varlıklarını yetkisiz erişime veya saldırılara karşı korumak için alınabilecek güvenlik önlemlerinin bütünü olarak tanımlanmaktadır [2].

Bilgi teknolojisi güvenliği veya elektronik bilgi güvenliği olarak da bilinen siber güvenliğin temel amacı, işletmenin bilgi teknolojileri altyapısını ve günlük operasyonları için gerekli bilgilerini korumaktır. Kurumlar için siber güvenlik, bilgisayar güvenliği, bilgi güvenliği, bilgi sistemleri güvenliği gibi çeşitli biçimlerde ele alınabilmektedir. Güvenli bir bilgisayar sistemi, bilgilerin gizliliğini, kullanılabilirliğini ve bütünlüğünü sağlamalıdır. Bilgisayar sisteminin güvenliği, yetkisiz kişi veya program aracılığıyla bilgisayara veya ağa zarar vermek veya normal faaliyet akışını bozmak amacıyla tehlikeye girebilir [2]. Söz konusu bu tehlikeleri yok etmek için siber güvenlik sağlanmalıdır.

2.2. Siber Güvenlik ve Bibliyometrik Analiz (Cyber Security and Bibliometric Analysis)

yapılmıştır. Tablo 1'de literatürde hangi çalışmaların yapıldığı, arama stratejisi ve yıl aralığı gibi detaylı bilgiler paylaşılmaktadır.

Tablo 1. Siber Güvenlik ve Bibliyometrik Analiz ile İlgili Yayınlar
(Publications on Cyber Security and Bibliometric Analysis)

Yazar	Zaman Aralığı	Kaynak	Yayın Sayısı	Arama Stratejisi
Jalali ve ark.(2019)	1966-2017	Web of Science ve Pub Med	472	“Health*” AND “Cybersecurity” OR “Cyber Security” OR “Cyber Attack*” OR “Cyber Crisis*” OR “Cyber Incident*” OR “Cyber Infrastructure*” OR “Cyber Operation*” OR “Cyber Risk*” OR “Cyber Threat*” OR “Cyberspace*” OR “Data Breach*” OR “Data Security*” OR “Firewall*” OR “Information Security*” OR “Information Systems Security*” OR “Information Technology Security*” OR “IT Security*” OR “Malware*” OR “Phishing*” OR “Ransomware*” OR “Security Incident*” OR “Information Assurance*”
Taylor ve ark.(2020)	2015-2018	IEEE, ScienceDirect, SpringerLink, ACM Digital Library, Google Scholar	655	“blockchain” OR “block-chain” OR “distributed ledger” AND “cyber Security” OR “cybersecurity” OR “cyber-Security”
Rahim (2021)	2003-2020	Scopus	606	“cyber threat*, cyberthreat*, cyber-threat*, cyber attack*, cyberattack*, and cyber-attack*”
Elango ve ark. (2022)	1999-2020	Web of Science ve Scopus	989	“CyberSecurity” OR “Cyber Security” OR “Cyber-Security” OR “Cyber incident management” OR “Cybersafety” OR “Cyber crisis management” OR “Cyber defense” OR “Cyber threat management” OR “Cyber Safety”
Loan ve ark.(2022)	2011–2020	Web of Science	1171	“CyberSecurity” OR “Cyber-Security” OR “Computer Security” OR “Information security” OR “Web Security” OR “Network Security” OR “Internet safety”
Sharma ve ark. (2023)	2011–2021	Web of Science	9152	“online” AND “fraud” OR “anomaly” OR “malware” AND “detection” OR “cyber” AND “forensics” OR “attack” AND “machine OR deep” AND learning”
<i>Bu makale</i>	1980-2021	<i>Web of Science</i>	4252	“Cyber Security” OR “cybersecurity” OR “cyber-Security” OR “Informations systems Security” OR “Informations technology Security” OR “IT Security” OR “Information security” OR “computer Security”

Jalali ve ark. (2019) siber güvenlik ve sağlık hizmetlerinin bibliyometrik bir analizini sunmaktadır. Çalışma, siber güvenlikle ilgili makalelerin çoğunun teknolojiye odaklandığını göstermektedir. Kümeleme analizlerinde, teknoloji odaklı makaleler tüm kümelerin yarısından fazlasını oluştururken, yönetim makaleleri yalnızca %32'sini oluşturduğu bulunmuştur. Siber güvenliğin teknolojik yönlerine odaklanan çalışmaların sayıca çok olması, teknolojik olmayan değişkenlerin (insan temelli ve organizasyonel yönler, strateji ve yönetim) yeterince incelenmediğini göstermektedir [13]. Taylor ve ark. (2020) blokzincir ve siber güvenlik temalarının bibliyometrik incelemesini çalışmıştır. Bu çalışmada en dikkat çekici bulgu, blok zincir ve siber güvenlik uygulamalarına ilişkin tüm çalışmaların neredeyse yarısının (%45) IoT cihazlarının güvenliği ile

ilgili olduğu bulunmuştur. İkinci sıradaki en popüler tema ise veri depolama ve paylaşma bulunmuştur [16].

Rahim (2021) siber tehditler ve siber saldırılar üzerine bibliyometrik bir inceleme gerçekleştirmiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre, siber saldırılar ve siber tehditlerle ilgili literatürün yazarlığı ve küresel dağılımında ABD'nin yazarlık açısından en fazla yayına ve etkiye sahip olduğu, gelişmekte olan ülkelere odaklanan araştırma sayısının az olduğu bulunmuştur[17]. Elango ve ark. (2022) Hindistan'da yayımlanan siber güvenlik çalışmalarına odaklanmıştır. Bu çalışmada 989 makale incelenmiş olup bu makalelerde en çok araştırılan anahtar sözcükler kriptografi, akıllı şebeke, güvenlik, ağ güvenliği, bulut bilişim, makine öğrenimi ve saldırı tespiti olmuştur [18]. Loan ve ark. (2022) siber güvenlik ile ilgili toplamda 1171 çalışma ile

bibliyometrik analiz yapmıştır. Bu çalışma sonuçlarına göre alandaki küresel dağılımındaki en yüksek payı ABD 'nin aldığı bulunmuştur [19]. Sharma ve ark. (2023) siber güvenlik ve siber adli tıp alanlarında yazarlar, dergiler, ülkeler, anahtar kelimeler, kaynaklar ve makaleler açısından bibliyometrik analiz gerçekleştirmiştir. Araştırma sonuçlarına göre "Kötü amaçlı yazılım algılama" anahtar kelimesi, 2012-2018 döneminde en çok araştırılan anahtar kelime olduğu tespit edilmiştir. Siber güvenlik ve siber adli tıp alanında en çok araştırma yayınlayan dergi ise "IEEE Access" dergisi olmuştur [20].

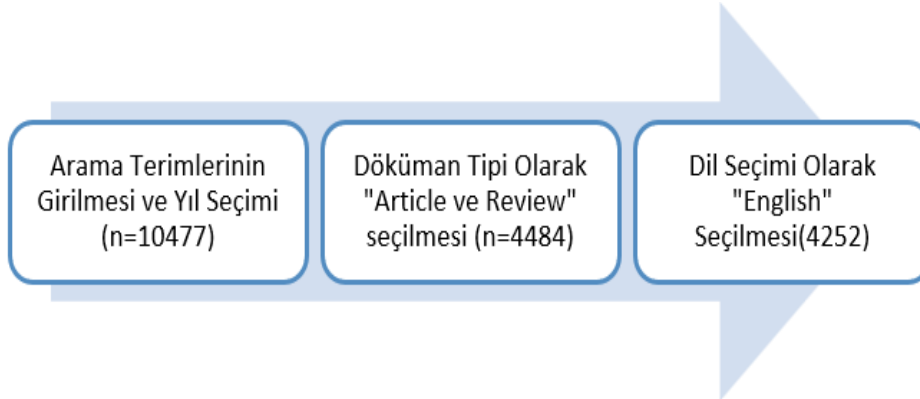
3. YÖNTEM (METHODOLOGY)

3.1. Veri Kaynakları (Data Sources)

Bu çalışmada Web of Science'in veritabanında indekslenen siber güvenlik ve bilgi güvenliği konularında yayınlanan makaleler bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmektedir. Bibliyometri, herhangi bir alan ile ilgili yayımlanmış araştırmaları nicel olarak analiz etmek için matematiksel ve istatistiksel yöntemler kullanan disiplinler arası bir disiplindir. Bir alanın gelişimi ve eğilimleri bibliyometrik analiz yöntemi ile incelenmektedir. Görselleştirme araçları ile değerli

bilgileri çıkarmak için veri madenciliği tekniklerini kullanırken aynı zamanda elde edilen bilgileri farklı boyutlarda görüntülenmesini sağlamaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre alandaki akademik üretkenliği değerlendirmek, alandaki önemli konuları özetlemek ve eğilimleri tahmin etmek mümkündür [21]. Bibliyometrik analizlerden performans analizi, kavramsal yapı ve tematik gelişim haritası gerçekleştirilmiştir. Verilerin elde edilme aşamaları şu şekilde gerçekleşmiştir;

İlk olarak, WOS veri tabanından "Title" sekmesinde "cyber security" OR "cybersecurity" OR "cyber-security" OR "informations systems Security" OR "informations technology security " OR "IT security" OR "information security" OR "computer security" terimleri ile yapılan aramada 1980-2021 yılları arası analize dâhil edilmiş olup toplamda 10.477 yayın bulunmuştur. Veri tabanına 11 Haziran 2022'de erişilmiştir ve eksik veri seti nedeniyle 2022 yılı hariç tutulmuştur. İkinci olarak, doküman tipi olarak "Article" ve "Review Article" seçilmiştir. Toplamda yayın sayısı 4484'e düşmüştür. Son olarak ise, dil kategorisinden "English" dili seçilmiş olup yayın sayısı 4252 olmuştur (Şekil 1).

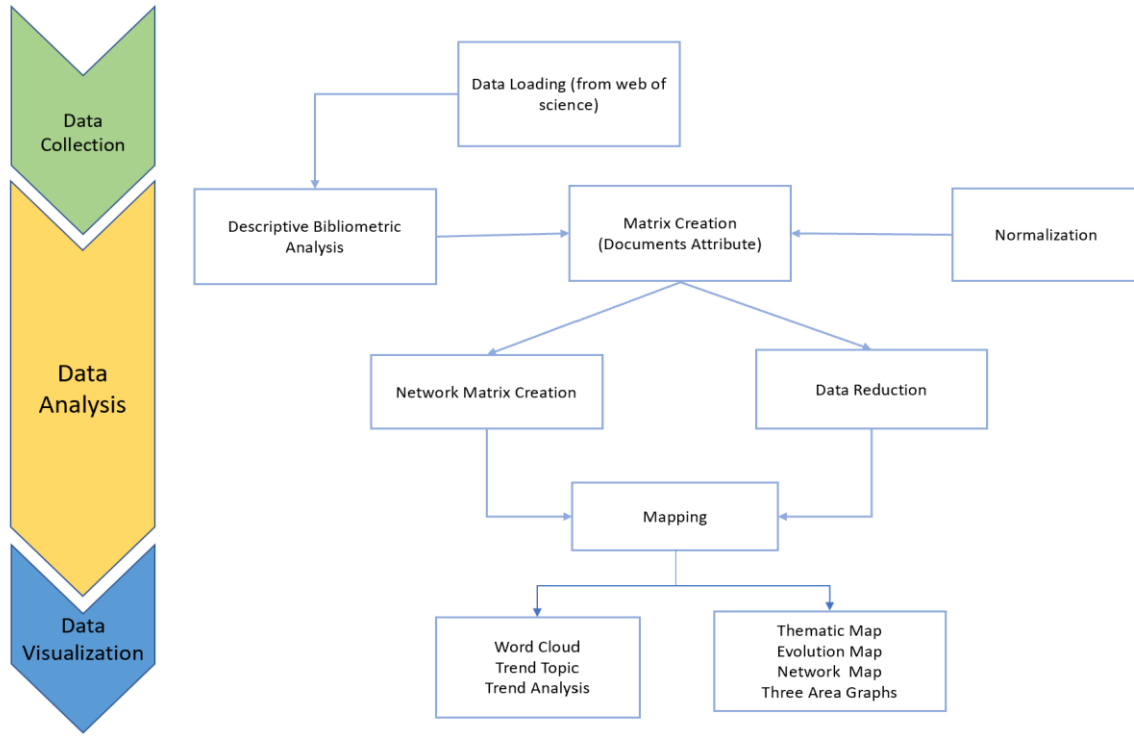


Şekil 1. Araştırma Verilerinin Elde Edilmesinde İzlenen Yol Haritası
(Roadmap for Obtaining Research Data)

3.2. Veri Analizi (Data Analysis)

Standart bibliyometrik analiz süreci üç adım içerir; veri toplama, veri analizi, veri görselleştirme (Şekil 2). Bibliometrix yazılım paketi, Profesör Massimo Aria tarafından 2017 yılında R diline dayalı olarak geliştirilmiş bir bibliyometrik yazılım paketidir. Scopus veya Web of Science veritabanlarından alınan makaleler üzerinde istatistiksel analiz, veri ön işleme, birlikte oluşum matrisi oluşturma, ortak alıntı analizi, eşleştirme analizi, eş kelime analizi ve küme analizi gibi çeşitli analizler gerçekleştirilebilmektedir. Çeşitli bilimsel haritalama araçlarının görselleştirme yeteneklerini birleştiren bibliometrix, literatür hakkında detaylı bilgi analizine ve sonuçların görselleştirilmesine olanak sağlar. Massimo Aria, R dili yazılım paketi kullanarak Bibliometrix'in ikinci bir sürümü olan biblioshiny uygulamasını geliştirmiştir. İki yazılım arasındaki fark, "bibliometrix" çalışma modunun kod komutlarından

oluşması, "biblioshiny" ise kullanıcıların etkileşimli bir web arayüzü üzerinde ilgili bibliyometrik ve görsel analizler yapmasına izin veren kod komutlarına ihtiyaç duymayan bir programdır. Biblioshiny kullanıcının bilgi girişi yoğunluğunu ve program kullanımını büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır [22]. Bu makalede, siber güvenlik alanındaki araştırma durumunu ve araştırma eğilimlerini analiz etmek ve görselleştirmek için bibliometrix ve biblioshiny yazılım paketleri kullanılmıştır. Web of Science veritabanından elde edilen veri seti R (4.0.3.) programı (paket olarak kurulan Bibliyometrix ve biblioshiny) ile analizi yapılmıştır. Analiz aşamasında ilk olarak bibliometrix R paketi R Studio aracılığıyla kurulmuş ve yüklenmiştir. Daha sonra R programlama konsolunda "bibliometrix::biblioshiny()" komutu girilerek biblioshiny uygulaması başlatılmıştır. Son olarak veri dosyası Biblioshiny arayüzüne yüklenmiştir. Daha sonra çalışmanın amacına ve araştırma sorularına uygun olan analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Bibliyometrik Analiz Süreci
(Bibliometric Analysis Process)

4. BULGULAR (FINDINGS)

Bu bölümde siber güvenlik alanının genel yapısını ve kavramsal yapısını ortaya koymak adına literatürde bu konu üzerine yazılmış 4252 yayına ait analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Alandaki yayınların, dergilerin, araştırmacıların ve ülkelerin performans analizleri, alanının entelektüel yapısını keşfetmek için, siber güvenlik araştırmalarının tematik gelişimi, araştırma, odakları ve güncel trendleri tespit edilmiştir.

4.1. Siber Güvenlik ile İlgili Yayınların Performans Göstergeleri (Performance Indicators of Publications Related to Cyber Security)

Siber güvenlik ve bilgi güvenliği teması altında en fazla atıf alan 10 yayının bilgileri Tablo 2’de yer almaktadır. Bu bulgulara göre en fazla atıf alan yayının (n=933) Buczak ve arkadaşları tarafından 2016 yılında IEEE Communications Surveys & Tutorials dergisinde yayımlanan “A Survey of Data Mining and Machine Learning Methods For Cyber Security Intrusion Detection” adlı çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, saldırı tespitini sağlayan makine öğrenimi ve veri madenciliği yöntemlerine yönelik bir literatür araştırması yapılmıştır. Her iki yöntem içinde siber saldırı tespit sorunlarına yönelik çeşitli uygulamaları açıklanmıştır. Farklı makine öğrenimi/veri madenciliği algoritmaları tanıtılmış ve bu yöntemler için bir dizi karşılaştırma kriteri sunulmuştur. Ayrıca, makale çözülmesi gereken siber sorunun özelliklerine bağlı olarak kullanılacak en iyi yöntemler hakkında öneriler sunulmaktadır [23]. Bu çalışmaya atıf veren makaleler

incelendiğinde ise genelde saldırı tespiti, anomali tespiti ve saldırı tespit sistemi konularını ele alan teknik araştırmalar olduğu görülmüştür. En çok atıf alan ikinci yayın (n=762) Bulgurcu ve ark. tarafından 2010 yılında MIS Quarterly dergisinde yayımlanan “Information Security Policy Compliance: An Empirical Study of Rationality-Based Beliefs and Information Security Awareness” başlıklı çalışmadır. Bu çalışma, bir kuruluşun çalışanlarının bilgi güvenliği politikasına uyumluluğunun öncüllerini araştırmıştır. Planlı davranış teorisine dayanarak, normatif inanç ve öz-yeterlik ile birlikte, bir çalışanın uyumluluğa yönelik tutumunun bilgi güvenliği politikasına uyma niyetini etkileyip etkilemediğine bakılmıştır. Ayrıca, bilgi güvenliği farkındalığının bir çalışanın bilgi güvenliği politikası ile uyumluluğuna yönelik tutumu üzerindeki etkisini de araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarında, bir çalışanın bilgi güvenliği politikasına uyma niyetinin, tutum, normatif inançlar ve öz yeterlilikten önemli ölçüde etkilendiğini bulunmuştur [24]. Bu makaleye atıf veren çalışmalar incelendiğinde genellikle bilgi güvenliği politikası, koruma motivasyon teorisi, bilgi güvenliği farkındalığı ve bilgi güvenliği politikası uyum gibi daha çok sosyal konuları araştıran makaleler olduğu görülmüştür.

En çok atıf alan üçüncü çalışma (n=553) Wang & Lu (2013) tarafından Computer Networks dergisinde yayımlanan “Cyber Security in The Smart Grid: Survey and Challenges” başlıklı araştırmadır. Bu yazıda, akıllı şebeke için siber güvenlik sorunlarına odaklanmış olup özellikle, akıllı şebekelerdeki güvenlik gereksinimlerini,

ağ açıklarını, saldırı karşı önlemlerini, güvenli iletişim protokollerini ve mimarilerini incelenmiştir [25]. Bu araştırmanın atıf ağı incelendiğinde akıllı şebekeler, akıllı sayaçlar, siber fiziksel sistemler, kimlik doğrulama konuları ön plana çıkmaktadır.

Dördüncü sıradaki çalışma, Johnston ve Warkentin (2010) tarafından MIS Quarterly dergisinde yayımlanan “Fear Appeals and Information Security Behaviors: An Empirical Study” çalışmasıdır. Bu çalışma, korku çekiciliğinin, tehditlerin azaltılmasına yönelik belirli bilgisayar güvenlik eylemlerini uygulamada son kullanıcıların uyumu üzerindeki etkisini araştırmak içindir. Teknoloji benimseme ve korku çekiciliği teorilerinin bir karışımını temsil eden kavramsal bir model test edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, korku çekiciliğinin, önerilen bireysel güvenlik eylemlerine uyma konusundaki son kullanıcı davranışsal niyetlerini etkilediği bulunmuştur [26]. Bu makaleye atıf veren çalışmalar incelendiğinde genellikle koruma motivasyon teorisi, uyum, planlı davranış teorisi, bilgi güvenliği politikası gibi sosyal konuları çalışan makaleler olduğu görülmüştür.

En çok atıf alan beşinci çalışma (n=507) Jain ve ark. (2006) tarafından IEEE Transactions on Information Forensics and Security dergisinde yayımlanan “Biometrics: A Tool For Information Security” başlıklı çalışmasıdır. Bu yazıda, bir kişiyi fiziksel veya davranışsal özelliklerine göre tanıma bilimi olarak tanımlanan biyometri bilgi güvenliği açısından incelenmektedir. Biyometrik taramanın bilgi güvenliği ile ilgili sorunların çözümleri, biyometrik sistemlerin karşılaştığı temel zorluklar, büyük ölçekli kimlik doğrulama sistemlerinde ölçeklenebilirlik ve güvenlik sorunlarına ilişkin çözümler tartışılmaktadır [27]. Bu araştırmanın atıf ağı incelendiğinde yüz tanıma, parmak izi tanıma, göz tanıma, kimlik doğrulama konuları ön plana çıkmaktadır.

Puhakainen ve Siponen (2010) tarafından MIS Quarterly dergisinde yayımlanan “Improving Employees’ Compliance Through Information Systems Security Training:” başlıklı çalışma atıf sıralaması tablosuna göre altıncı sırada yer almaktadır (n=506). Bu çalışmada, iki teoriye dayanan bir eğitim programı önerilmektedir. Bilgi sistemleri güvenlik politikası uyum eğitimi için eğitim programı eylem araştırması projesi yapılmıştır. Eylem araştırması, teoriye dayalı eğitimin olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir. Çalışma sonuçlarında eğitim uygulamasında çalışanları motive eden içerik ve yöntemlerin kullanılması gerektiği önerilmektedir. Ek olarak bu çalışma, çalışanların bilgi sistemleri güvenlik politikası

uyumluluğunu iyileştirmek için sürekli bir iletişim sürecinin de gerekli olduğunu ortaya koymuştur [28].

En çok atıf alan yedinci çalışma (n=375) Herath ve Rao (2009) tarafından Decision Support Systems dergisinde yayımlanan “Encouraging Information Security Behaviors in Organizations: Role of Penalties, Pressures and Perceived Effectiveness” başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, çalışanların bilgi güvenliği politikalarına uyumu konusunda cezaların teşvik edici etkileri üzerine teorik bir model önerilmektedir. Çalışma sonuçlarına göre, güvenlik davranışlarının hem içsel hem de dışsal motivasyonlardan etkilendiğini göstermektedir. Özel normlar ve akranlar tarafından uygulanan baskılar, çalışanların bilgi güvenliği davranışlarını etkilemektedir. Fakat cezanın güvenlik davranış niyetlerini olumsuz etkilediği bulunmuştur [29].

En çok atıf alan sekizinci çalışma (n=354) Yan ve ark. (2012) tarafından IEEE Communications Surveys & Tutorials dergisinde yayımlanan “A Survey On Cyber Security For Smart Grid Communications” başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışma, akıllı şebeke iletişim sistemlerindeki güvenlik açıklarının ve potansiyel siber saldırıların bir özetini sunmaktadır. Ayrıca, akıllı şebeke iletişim sistemlerinde siber güvenliğin başlıca zorluklarını ve mevcut çözümlerini tartışmaktadır [30].

Crossler ve ark. (2013) tarafından Computers & Security dergisinde yayımlanan “Future Directions For Behavioral Information Security Research” başlıklı çalışma atıf sıralaması tablosuna göre dokuzuncu sırada yer almaktadır (n=331). Bu makalede, davranışsal bilgi güvenliği araştırma alanı için karşılaşılan zorluklar ve gelecekteki yönelimleri literatür taraması yöntemiyle açıklanmıştır [31].

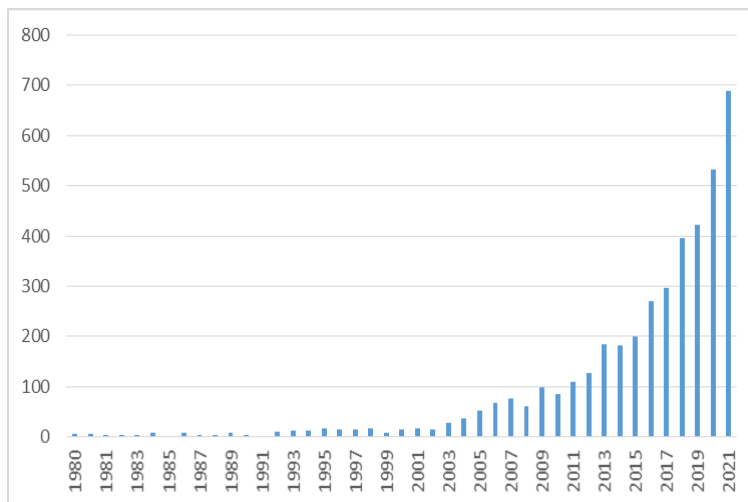
Ifinedo (2012) tarafından Computers & Security dergisinde yayımlanan “Understanding Information Systems Security Policy Compliance: An Integration of The Theory of Planned Behavior and The Protection Motivation Theory” başlıklı çalışma atıf sıralaması tablosuna göre onuncu sırada yer almaktadır (n=324). Bu çalışmada, planlı davranış teorisi ve koruma motivasyon teorisinden yararlanılarak bilgi sistemleri güvenlik politikasına uyumluluğu test eden bir model önerilmiştir. Anket, işletme yöneticisi ve bilgi işlem uzmanı olan 124 kişiye uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, öz yeterlilik, uyumluluğa yönelik tutum, öznel normlar, yanıt etkinliği ve algılanan güvenlik açığı faktörlerinin çalışanların bilgi sistemleri politikasına uyum niyetlerini olumlu yönde etkilediği bulunmuştur. Fakat algılanan önem ve yanıt maliyeti faktörleri çalışanların bilgi sistemleri politikasına uyum niyetleri üzerindeki etkisi bulunamamıştır [32].

Tablo 2. En Çok Atıf Alan Yayınlar
(Most Cited Publications)

Nu	Yazar	Dergi	Yıl	Başlık	Atıf
1	Buczak ve ark.	Ieee Commun Survey Tut.	2016	A Survey of Data Mining and Machine Learning Methods For Cyber Security Intrusion Detection	933
2	Bulgu rcu ve ark.	MIS Quarterly	2010	Information Security Policy Compliance: An Empirical Study of Rationality-Based Beliefs and Information Security Awareness	762
3	Wang ve Lu	Comput Netw.	2013	Cyber Security in The Smart Grid: Survey and Challenges	553
4	Johnston ve ark.	MIS Quarterly	2010	Fear Appeals and Information Security Behaviors: An Empirical Study	540
5	Jam ve ark.	Ieee T Inf. Foren Sec.	2006	Biometrics: A Tool For Information Security	507
6	Siponen ve ark.	Mis Quarterly	2010	Improving Employees' Compliance Through Information Systems Security Training	506
7	Herath ve ark.	Decision Support Systems	2009	Encouraging Information Security Behaviors In Organizations: Role Of Penalties, Pressures and Perceived Effectiveness	375
8	Yan ve ark.	Ieee Commun. Surv. Tut.	2012	A Survey on Cyber Security For Smart Grid Communications	354
9	Crossler ve ark.	Computer Security	2013	Future Directions For Behavioral Information Security Research	331
10	Ifinedo P.	Computer Security	2012	Understanding Information Systems Security Policy Compliance: An Integration of The Theory of Planned Behavior and The Protection Motivation Theory	324

Şekil 3 1980 – 2021 yılları arasında yıllara göre yayın sayısını sunmaktadır. Buna göre, bu konudaki yayınlar 2015 yılı itibariyle ivme kazanmış ve 2021 yılında bu alanla ilgili 688 çalışma yayınlanmıştır. Son 5 yılda toplam yayın sayısının yarısından fazlasının

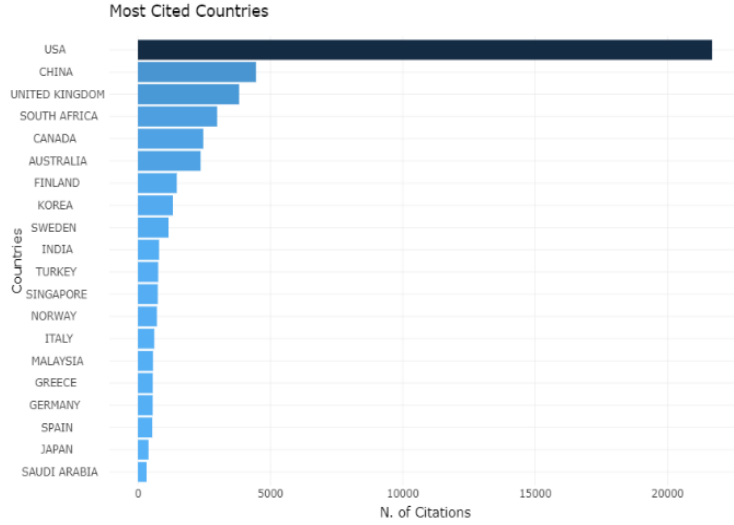
yayımlandığı gözlenmektedir. Son yıllarda, özellikle dijital dönüşümün yaygınlaşması beraberinde siber güvenlik konusuna olan ilgiyi de artmıştır. Bu nedenle, hakemli yayınlardaki artış, araştırmacılara ve diğer paydaşlara etkileri olan küresel bir araştırma alanına işaret etmektedir.



Şekil 3. Yıllara Göre Yayın Sayısı
(Number of Publications by Years)

Şekil 4’te en çok yayın yapan 20 ülke atıf alma sırasına göre listelenmiştir. Bu bağlamda siber güvenlik konusunda en çok atıf alan ülke sıralamasında birinci sırada yer alan ABD yaklaşık 20000 atıf almıştır. Bilgisayar biliminin menşe ülkesi olan ABD [33] ile diğer ülkeler arasındaki atıf sayısı farkı oldukça fazladır. ABD siber güvenlik ve bilgi güvenliği

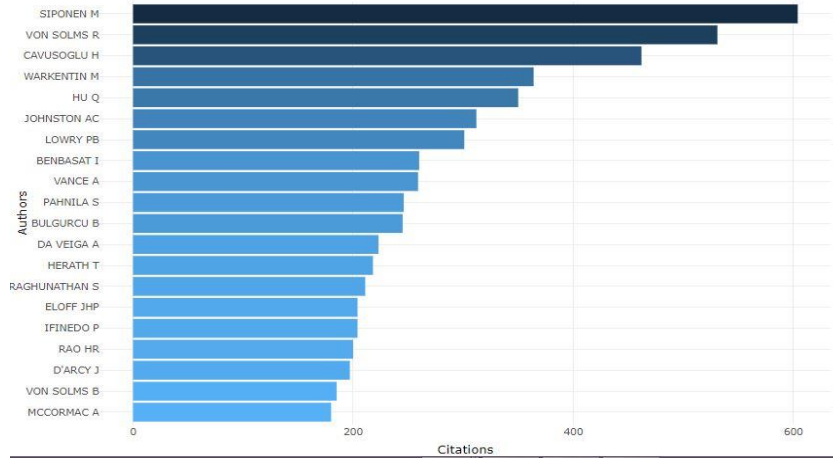
konusunda yapılan çalışmalarla küresel çapta lider olduğu Şekil 2’den anlaşılmaktadır. Atıf sıralamasında ikinci sırada 4458 atıf sayısı ile Çin olduğu görülmektedir. Bu ülkeleri sırasıyla Birleşik Krallık, Güney Afrika ve Kanada ülkeleri takip etmektedir. Türkiye ise on birinci sırada yer almaktadır.



Şekil 4. En Çok Atıf Alan Ülkeler
(Top Cited Countries)

Siber güvenlik araştırmalarına uluslararası yazarlar da dâhil olmak üzere toplam 8736 yazar katılmıştır. Şekil 5’te siber güvenlik çalışmalarına yönelik en çok atıf alan

20 yazar listelenmektedir. Buna göre ilk üç sırada olan yazarlar sırasıyla Siponen M.(n=18), Von Solms R. (n=32) Ve Çavuşoğlu M. (n=12) dir.



Şekil 5. En çok atıf alan yazarlar
(Most cited authors)

4.2. Siber Güvenlik ile İlgili Yayınların Kavramsal Yapısı (Conceptual Structure of Publications on Cyber Security)

Anahtar kelimeler, makalelerin özetini temsil eder bu nedenle anahtar kelimelerin çıkarılması ve sistematik olarak sınıflandırılması, araştırma alanının dinamiklerinin ve eğilimlerinin ortaya çıkarılması açısından önemlidir [34]. Şekil 6, siber güvenlik ve bilgi güvenliği konularındaki makalelerinin anahtar kelimelerinde en sık kullanılan kelime gruplarına

yönelik kelime bulutunu göstermektedir. Kelimelerin sıklıklarına göre büyüklüklerinin belirlendiği bu kelime bulutu görseline göre; en sık kullanılan anahtar kelime “siber güvenlik”, ikinci en sık kullanılan anahtar kelime “bilgi güvenliği” ve en yaygın üçüncü kelime “güvenlik” tir. Bu kelimeleri, “risk yönetimi”, “bilgi güvenliği yönetimi”, “risk değerlendirme”, “bilgi güvenliği politikası” takip etmiştir. Bu görselden çıkan sonuçlara göre yayınların bilimsel faaliyet alanlarının hangi temalar üzerinde ağırlıklı olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Kelime Bulutu
(Word Cloud)

Tablo 3'te siber güvenlik alanında yapılan yayınların trend olan araştırma konuları yıllara göre gösterilmektedir. Bu tabloda 2016-2021 yıllarına ait ve en fazla ön plana çıkan trend başlıklar sıralanmıştır. 2016 yılındaki en trend araştırma konuları sırasıyla risk yönetimi, risk değerlendirme, risk, bilgi güvenliği farkındalığı ve risk analizidir. 2017 yılında yayınlanan çalışmalarda trend konular; oyun teorisi, ağ güvenliği, kırılabilirlik, anomali tespiti ve bilgi korumadır. 2018 yılındaki en popüler başlıklar bilgi güvenliği politikası, bilgi güvenliği kültürü, veri koruma, veri madenciliği ve tehditlerdir. 2019 yılında en trend başlıklar olarak akıllı şebekeler, farkındalık, uygunluk, siber uzay ve eğitim

konularının ön plana çıktığı görülmektedir. 2020 yılında ise saldırı tespit, siber saldırılar, siber fiziksel sistemler, virüsler ve saldırı tespit sistemi gibi daha çok teknik araştırma konuları en trend başlık olarak karşımıza çıkmaktadır. 2021 yılına gelindiğinde ortalama, siber fiziksel güvenlik, analitik modeller, siber dayanıklılık ve organizasyonel kültür konularının popüler araştırma konuları olduğu görülmektedir. 2021 yılının en çok çalışılan araştırma konusu "ortalama", 2020 yılının "saldırı tespiti", 2019 yılının "akıllı şebekeler", 2018 yılının "bilgi güvenliği politikası", 2017 yılının "oyun teorisi", 2016 yılının ise "risk yönetimi" dir.

Tablo 3. Yıllara Göre Trend Konular
(Trending Topics by Years)

Yıl	Konu (Eng)	Konu (Tr)
2021	Phishing	Oltalama
	Cyber-Physical Security	Siber Fiziksel Güvenlik
	Analytical Models	Analitik Modeller
	Cyber Resilience	Siber Esneklik
	Organisational Culture	Kurumsal Kültür
2020	Intrusion Detection	Saldırı Tespiti
	Cyber-Attacks	Siber Saldırıları
	Cyber-Physical Systems	Siber Fiziksel Sistemler
	Malware	Kötü Amaçlı Yazılım
	Intrusion Detection System	Saldırı Tespit Sistemi
2019	Smart Grid	Akıllı Şebeke
	Awareness	Farkındalık
	Compliance	Uyum
	Cyberspace	Siber Uzay
	Education	Eğitim
2018	Information Security Policy	Bilgi Güvenliği Politikası
	Information Security Culture	Bilgi Güvenliği Kültürü

	Data Protection	Veri Koruma
	Data Mining	Veri Madenciliği
	Threats	Tehditler
2017	Game Theory	Oyun Teorisi
	Network Security	Ağ Güvenliği
	Vulnerability	Kırılabilirlik
	Anomaly Detection	Anomali Tespiti
	Information Protection	Bilgi Koruma
2016	Risk Management	Risk Yönetimi
	Risk Assessment	Risk Değerlendirme
	Risk	Risk
	Information Security Awareness	Bilgi Güvenliği Farkındalığı
	Risk Analysis	Risk Analizi

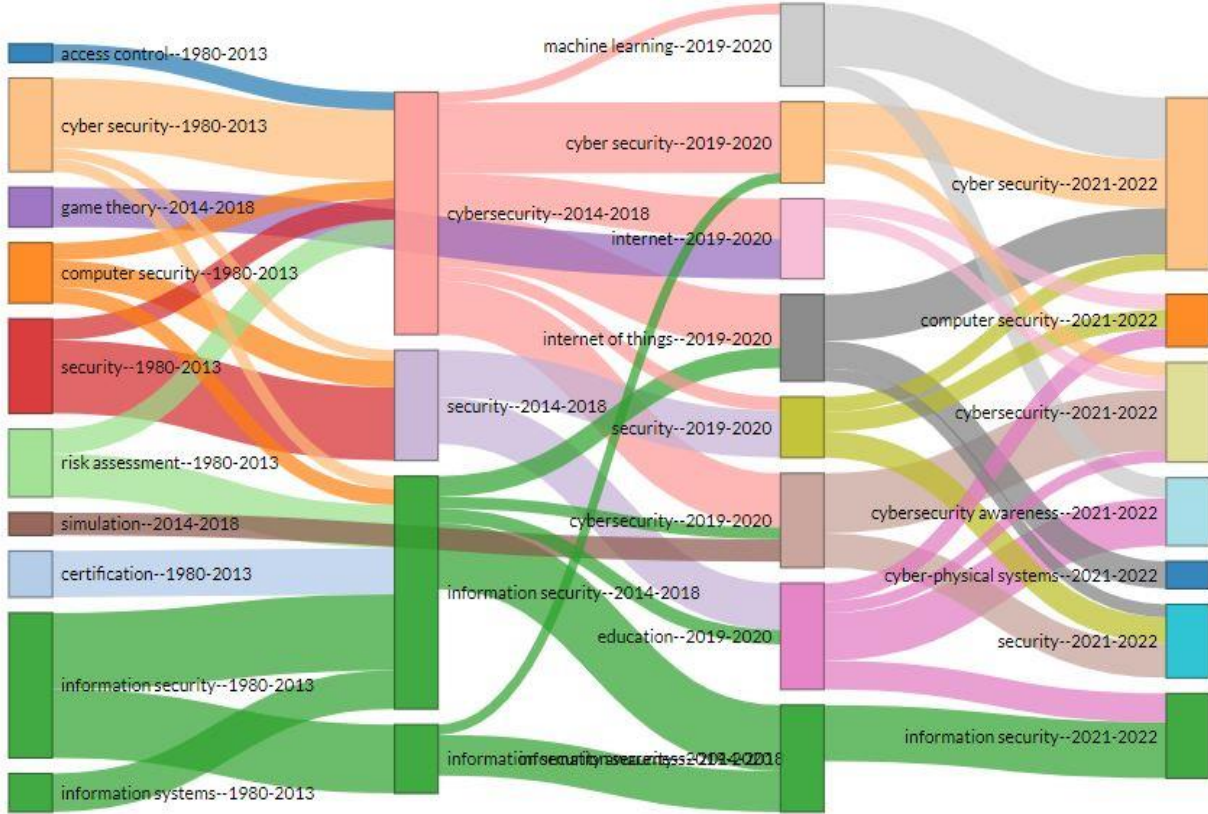
4.3. Siber Güvenlik ile İlgili Yayınların Tematik Yapısı (Thematic Structure of Publications on Cyber Security)

Şekil 7 yıllara göre anahtar kelimelerin tematik gelişimini gösteren bir sankey diyagramıdır. Siber güvenlik temalarının yıllara göre nasıl geliştiğini

incelemek için sankey diyagramlarından yararlanılarak Tematik Evrim Haritası oluşturulmuştur. Sankey diyagramı ile tema kümelerinin oluşumu ve kümelerin zaman içinde birbirleriyle nasıl etkileşime geçtiği incelenir. Bu diyagramda tema kümeleri birbirleriyle boylamsal bir çerçeve içerisinde etkileşime girerler ve bu diyagram temaların ana evrimsel yollarını saptamaya olanak sağlar. Her bir düğüm noktası, en yüksek frekansa ve aynı zamanda uyumlu olduğu alt döneme karşılık gelen bir anahtar kelimeyle etiketlenen tema kümesini oluşturur. Düğümün boyutu ilgili tema içerisindeki anahtar kelimelerin sayısı ile doğru orantılıdır. Düğümler noktaları arasındaki akış, temaların evrimsel yönünü göstermektedir. Kenar genişliği birbirine bağlı iki temanın toplamı kadardır.

Farklı dönemler boyunca gelişen bir grup tema, tematik bir küme olarak kabul edilebilir [20]. Siber güvenlik yayınlarında kullanılan anahtar kelimeler ile oluşturulan bu evrim haritası yayın sayılarına göre eşit bir şekilde dağılan dört döneme ayrılmıştır. Dört döneme yayılmasının sebebi zaman içerisindeki değişiklikleri net bir şekilde görebilmektir.

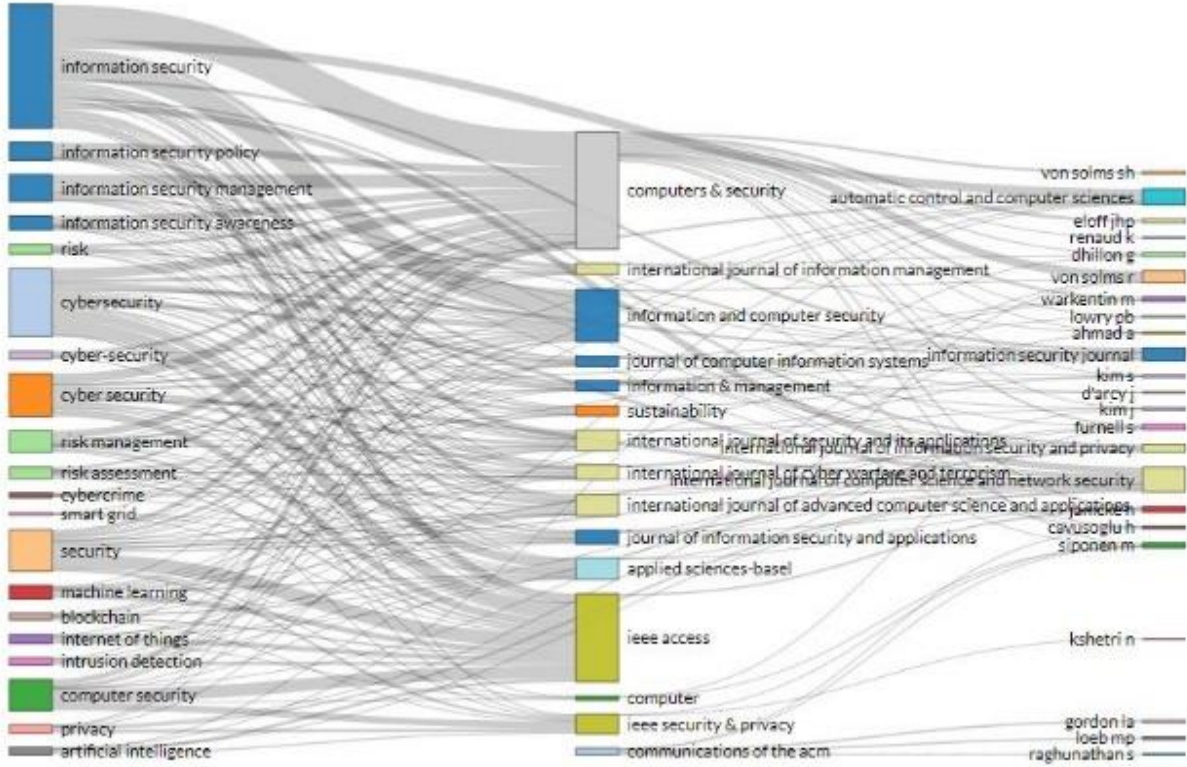
İlk dönem olan 1980-2013 arasında 10 tema varken bu temalar son dönem olan 2021-2022 döneminde 7 tema altında toplanmıştır. İlk dönemde bilgi güvenliği ağırlıklı tema iken son dönemde siber güvenlik teması ağırlıklıdır. İlk dönemde hiç bulunmayan siber güvenlik farkındalığı ve siber fiziksel sistemler temaları son dönemde etkin tema olmuştur.



Şekil 7. Tematik Evrim Haritası (Sankey Diyagramı)
(Thematic Evolution Map (Sankey Diagram))

Anahtar kelimeler, yazarlar ve dergiler arasındaki ilişki üç alan grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir. Buna göre; siber güvenlik alanında yapılan çalışmaların en çok yayımlandığı dergiler, bu dergilere en çok katkı sağlayan yazarlar ve yazarların en çok kullandığı anahtar kelime temaları gösterilmektedir. Grafikte yer alan düğümlerin boyutunun büyüklüğü veya küçüklüğü bu öğelerle ilişkili yayın sayısı ile orantılıdır. Üç alan grafiğinin solunda yazarlar anahtar kelimeleri yer almakta ve bu alanda 20 farklı anahtar kelime listelenmektedir. Buna göre en çok kullanılan anahtar

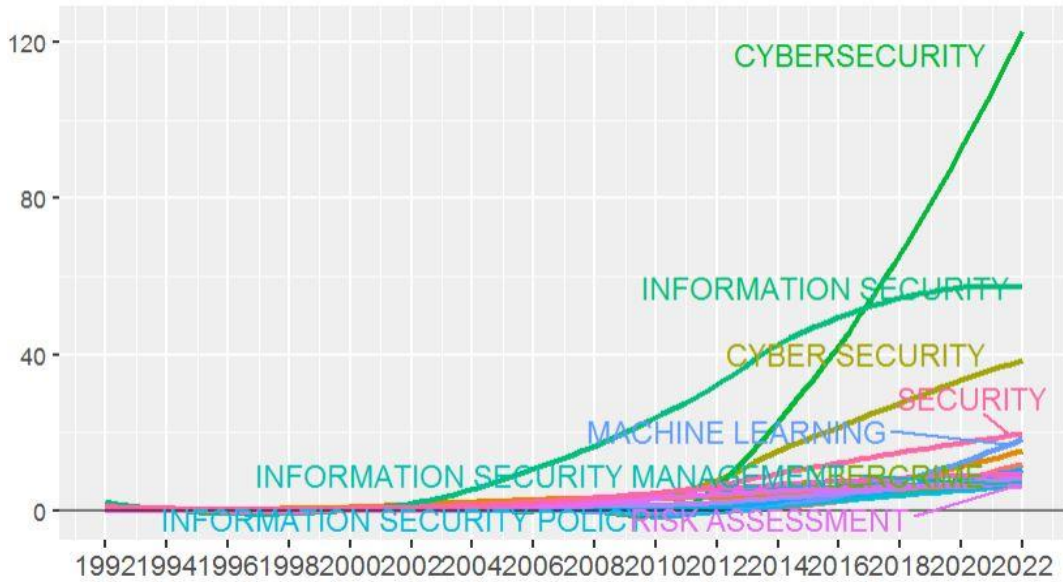
kelimelerin bilgi güvenliği, bilgi güvenliği politikası, bilgi güvenliği yönetimi, bilgi güvenliği farkındalığı, bilgisayar güvenliği olduğu görülmektedir. Grafiğin ortasında çalışmaların en çok yayımlandığı yayımlandığı dergiler yer almaktadır. Buna göre siber güvenlik alanında en çok yayım yapılan dergilerin “computers & security”, “ieee access”, “information and computer security” olduğu göze çarpmaktadır. Grafiğin sağ tarafında ise bu alanda yayın yapan yazarlar yer almaktadır. Gri çizgiler ise düğümler arasındaki ilişkileri göstermektedir.



Şekil 8. Anahtar Kelimeler, Dergiler ve Yazarlar Arasındaki İlişkinin Üç Alan Grafiği
(Three Area Graphs of Relationship Between Keywords, Journals, and Authors)

Yazar anahtar kelime analizine dayalı yıllara göre araştırma eğilimleri Şekil 9'da gösterilmektedir. Bu grafiğe göre siber güvenlik anahtar kelimesi giderek artan bir kullanımı varken bilgi güvenliği anahtar kelimesinin yavaş ve 2020 yılı itibari daha dengeli bir düzeyde ilerleme göstermektedir. Bilgi güvenliği

yönetimi, bilgi güvenliği politikası anahtar kelimelerinin ise 2000 yıllar öncesinde daha az çalışılmış iken 2000 yıllar sonrasında ivme kazandığı ve bu anahtar kelimelerin yayınlarda kullanım sıklığının arttığı Şekil 9' da görülmektedir.



Şekil 9. Yıllara Göre Anahtar Kelimelerin Eğim Analizi
(Slope Analysis of Keywords by Year)

Yazar anahtar kelimelerinin birlikte kullanımını inceleyebilmek için eşdizimlilik ağına ait grafik Şekil 10'da sunulmaktadır. Eşdizimlilik ağı sık sık birlikte

kullanılan anahtar kelimeleri bir küme içinde gruplandırılan bir analizdir. Alanın tematik yapısını ortaya koyan bu grafikte her bir renk bir kümeyi temsil

etmektedir. İlk küme olan “information security” teması içerisinde “bilgi güvenliği yönetimi, bilgi güvenliği farkındalığı, güvenlik yönetimi, bilgi güvenliği kültürü, bilgi güvenliği politikası, risk yönetimi, risk değerlendirme, risk analizi” gibi kavramlar ana tema ile yoğun bir ilişki içerisinde. Mavi renk ile küme grubunun temel odak noktası “cyber security” başlığıdır. Bu temada “büyük veri, siber suçlar, akıllı şebekeler,

nesnelerin interneti, saldırı tespiti, makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay zeka, bulut bilişim, siber uzay, blok zincir” kavramları yer almaktadır. Üçüncü küme ise kırmızı renk ile belirtilen “security” kümesidir. Bu başlık altında “kriptografi, bilgisayar suçları, öğrenme, eğitim, gizlilik, savunmasızlık, ağ güvenliği, bilgisayar güvenliği, oyun teorisi, insan faktörleri, risk” kavramları ile ilişkiler yer almaktadır.



Şekil 10. Anahtar Kelimeler Göre Eşdizimlilik Ağı
(Collocation Network by Keywords)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION and CONCLUSION)

Bu çalışmanın amacı, siber güvenlik ile ilgili alan dinamiklerini ve son araştırma eğilimlerini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda alanın performans göstergeleri, kavramsal ve tematik yapısı incelemek ve anlamak için bibliyometrik analiz yapılmıştır. Araştırmanın amacı doğrultusunda “Siber güvenlik ile ilgili yayınların performans göstergeleri nelerdir?”, “Siber güvenlik ile ilgili yayınların kavramsal yapısı nasıldır ve ön plana çıkan unsurlar nelerdir?”, “Siber güvenlik ile ilgili yayınların tematik gelişim haritasında ön plana çıkan unsurlar nelerdir?” araştırma sorularına cevap aranmıştır.

Araştırma Sorusu 1: Siber güvenlik alanı ile ilgili yayınların performans göstergeleri nelerdir? (En çok katkı sunan yayınlar, dergiler, ülkeler, atıf alan yazarlar)

Siber güvenlik ilgili literatürün yazarlığı ve küresel dağılımı incelediğinde, ABD'nin atıf açısından en fazla yayına ve etkiye sahip olduğunu görülürken, gelişmekte olan ülkelerin araştırma atıf sayısının az olduğu

görülmüştür. Dolayısıyla gelişmekte olan ülkelerde araştırma sayısının artırılması ve araştırmacıların bu konuya yönelmesine alanın gelişmesi için ihtiyaç duyulmaktadır. Bulgular, bu konudaki literatürün 1980 yılında başladığını ve 2021'de 688 yayımla zirveye ulaştığını, söz konusu bu yıllar arasında toplam 4252 çalışmanın yayınladığını göstermektedir. Buna göre, bu konudaki yayınlar 2015 yılı itibarıyla ivme kazanmıştır (Şekil 3). Son beş yılda toplam yayın sayısının yarısından fazlasının yayımlandığı gözlenmektedir. Analizler neticesinde siber güvenlik ile ilgili literatürün küresel dağılımının sınırlı kaldığı görülmüştür. Özellikle ABD, Çin gibi gelişmiş ülkelerdeki yayın sayısı gelişmekte olan ülkelere kıyasla yüksek seyretmiştir [17], [19]. Siber güvenlik ülke sınırlarını aşan küresel bir fenomen olduğu için bireylerin siber uzay ortamında güvenliğinin nasıl sağlanacağı konusunda ortak iş birlikli araştırmalar yürütülmesi alanın gelişimi adına önemli olacaktır.

Araştırma Sorusu 2: Siber güvenlik alanı ile ilgili yayınların kavramsal yapısı nasıldır ve ön plana çıkan unsurlar nelerdir?

Alanın kavramsal yapısı yıllara göre incelediğinde her yıl ayrı çalışma temalarının ortaya çıktığı görülmektedir. Anahtar kelime analizine göre yazarlar tarafından araştırılan en çok kullanılan anahtar kelimeler yıllara göre kategorileştirilmiştir (Tablo 3). 2016 yılında yayınlanan araştırmalarda en çok tekrar eden anahtar kelimeler sırasıyla risk yönetimi, risk değerlendirme, risk, bilgi güvenliği farkındalığı ve risk analizidir. 2017 yılında yayınlanan araştırmalarda en çok tekrar eden anahtar kelimeler; oyun teorisi, ağ güvenliği, kırılabilirlik, anomali teşhisi ve bilgi korumadır. 2018 yılındaki en popüler başlıklar bilgi güvenliği politikası, bilgi güvenliği kültürü, veri koruma, veri madenciliği ve tehditlerdir. 2019 yılında yayınlanan araştırmalarda akıllı şebekeler, farkındalık, uygunluk, siber uzay ve eğitim konularının ön plana çıktığı görülmektedir. 2020 yılında ise saldırı tespit, siber saldırılar, siber fiziksel sistemler, virüsler ve saldırı tespit sistemi gibi daha çok teknik araştırma konuları en trend başlık olarak karşımıza çıkmaktadır. 2021 yılında ortalama, siber fiziksel güvenlik, analitik modeller, siber dayanıklılık ve organizasyonel kültür konularının popüler araştırma konuları olduğu görülmektedir. 2021 yılının en çok çalışılan araştırma konusu “ortalama”, 2020 yılının “saldırı tespiti”, 2019 yılının “akıllı şebekeler”, 2018 yılının “bilgi güvenliği politikası”, 2017 yılının “oyun teorisi”, 2016 yılının ise “risk yönetimi” olmuştur. Tüm bu anahtar kelimeler siber güvenlik ile bağlantılıdır. Bu anahtar kelimelerden “saldırı tespiti” ve “akıllı şebekeler” önceki çalışmaların bulguları ile örtüşmektedir [18], [20]. Bu çalışma ortaya çıkardığı diğer anahtar kelimeler ile mevcut literatürden ayırmakta ve bu yönüyle alana önemli katkı sunmaktadır.

Araştırma Sorusu 3: Siber güvenlik alanı ile ilgili yayınların tematik gelişim haritasında ön plana çıkan unsurlar nelerdir?

Siber güvenlik alanının tematik gelişim haritası incelediğinde 1980-2013 arasında 10 tema varken bu temalar son dönem olan 2021-2022 döneminde 7 tema altında toplanmıştır (Şekil 7). İlk dönemde bilgi güvenliği ağırlıklı tema iken son dönemde siber güvenlik teması ağırlıklıdır. İlk dönemde hiç bulunmayan siber güvenlik farkındalığı ve siber fiziksel sistemler temaları son dönemde etkin tema olmuştur. Önceki çalışmalar siber güvenlikle ilgili makalelerin çoğunun teknolojiye odaklandığını, alanın sosyal boyutunu temsil eden insani ve organizasyonel yönlerin yeterince incelenmediğini ortaya çıkarmıştır [35]. Bu araştırma bu bulguları desteklemekte olup son yıllarda araştırmacıların teknik konulardan artık davranışsal sosyal konulara kaydığını, günümüzde artık siber güvenliğin sosyal boyutunun öne çıktığı yapılan analizler neticesinde görülmektedir. Siber güvenlik olaylarının büyük bir çoğunluğunun sebebi insan faktörüdür. Bu nedenle gelecek çalışmaların siber güvenliğin insani ve organizasyonel yönlerinin araştırılması önerilmektedir.

Alanın tematik yapısını ortaya koyan eş dizimlilik ağı incelediğinde “**information security**” teması içerisinde “bilgi güvenliği yönetimi, bilgi güvenliği farkındalığı, güvenlik yönetimi, bilgi güvenliği kültürü, bilgi güvenliği politikası, risk yönetimi, risk değerlendirme, risk analizi” gibi kavramlar ana tema ile yoğun bir ilişki içerisinde. Diğer bir tema ise “**cyber security**” başlığıdır. Bu temada “büyük veri, siber suçlar, akıllı şebekeler, nesnelerin interneti, saldırı tespiti, makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay zeka, bulut bilişim, siber uzay, blokzincir” kavramları yer almaktadır. Üçüncü tema ise “**security**” kümesidir. Bu başlık altında “kriptografi, bilgisayar suçları, öğrenme, eğitim, gizlilik, savunmasızlık, ağ güvenliği, bilgisayar güvenliği, oyun teorisi, insan faktörleri, risk” kavramları ile ilişkiler yer almaktadır. Sonuç olarak, bu grafikte araştırma alanıyla ilgili en önemli kavramlar ve birbiri ile yakın bir şekilde ilişkili olan kavramlar kümelenmişlerdir (Şekil 10). Bu bulgulardan hareketle araştırma alanının temel yapıtaşları görülebilmektedir.

5.1. Teorik ve Pratik Katkılar (Theoretical and Practical Implications)

Bu çalışma, siber güvenlik konusunda teorik ve pratik olarak alana katkı verecektir. İlk olarak araştırmanın kullandığı arama stratejisi, yıl kapsamı ve makale sayısı açısından mevcut çalışmalardan ayrılarak literatüre katkı sağlayacaktır. Araştırma, Türkiye’de siber güvenlik ve bilgi güvenliği alanındaki literatürün çeşitli bibliyometrik indekslerini analiz eden ilk araştırmalardan biri olarak alana katkı sunacaktır. Pratikte ise, araştırmacıların ve bilim uzmanlarının siber güvenlik alanına yönelik farkındalık düzeyini artırmak ve bu alandaki çalışmalara yol gösterici katkısı olacağı düşünülmektedir. Yeni teknolojiler ortaya çıktıkça siber saldırıların boyutu ve yöntemi değişmektedir. Bu nedenle siber güvenlik araştırmalarının yeni teknolojiler bağlamında (örn. Yapay zeka, Metaverse) inceleyen çalışmalara daha çok ihtiyaç duyulmaktadır.

5.2. Sınırlılıklar ve Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler (Limitations of the Study and Directions for Future Studies)

Bu çalışmada her çalışmada olduğu gibi bazı sınırlılıklara sahiptir. Gelecek araştırmalar için bu sınırlılıklar birer avantaj haline dönüştürülerek alana daha derin katkılar sağlanabilir. İlk olarak kullanılan veri tabanı nedeniyle bazı sınırlılıklar vardır. Bu çalışmada Web of Science veri tabanında veriler elde edilmiştir. Web of Science, bilimsel dergiler, kitaplar ve konferans bildirileri de dahil olmak üzere hakemli literatür için en büyük özet ve alıntı arşivi olmasına rağmen tüm dergileri ve yayınları arşivleyememektedir. Bu nedenle bazı dergilerdeki yayınlar araştırma kapsamı dışında kalmış olabilir. Gelecek araştırmalar, siber güvenlik konusunda yayınlanmış çalışmalar hakkında tam ve ayrıntılı bulgular elde etmek için ek veri tabanları kullanılarak yeni çalışmalar yapılabilir. Çeşitli veri tabanlarından elde edilen bulgular arasındaki paralellikleri ve tutarsızlıkları tespit etmek için

genellikle karşılaştırmalı araştırmalar yapılması önerilmektedir. Ek olarak, gelecekteki araştırmalar, zengin bilgi elde etmek için görüşmeler, grup tartışmaları, anketler veya diğer yaklaşımlar gibi bir dizi araştırma tekniğini kullanarak alanın detaylı incelemesini yapabilirler. İkincisi, bu makalede yayınların başlıklarına, özetlerine ve anahtar sözcüklerine dayalı analizler yapılmıştır. Üçüncüsü, yıllara göre veri tabanı sürekli olarak değiştiğinden,

kümülatif yayın sayısı ve toplanan diğer ayrıntılar yalnızca belirli zaman aralığı dahilinde incelenmiştir. Veri toplama aşaması Ağustos 2022 tarihinde bitirildiğinden gelecekteki araştırmalar zaman aralığını uzatarak, alanın gelişiminin geniş zaman diliminde ele alınması tavsiye edilmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada siber güvenlik ve bilgi güvenliği konusunda gelecekteki araştırmalar için temel oluşturmak amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Pawlicka, M. Choraś, and M. Pawlicki, "Cyberspace threats: Not only hackers and criminals. Raising the awareness of selected unusual cyberspace actors - Cybersecurity researchers' perspective", *ACM International Conference Proceeding Series*, 2020.
- [2] K. Shaukat, S. Luo, V. Varadharajan, I. A. Hameed, and M. Xu, "A Survey on Machine Learning Techniques for Cyber Security in the Last Decade", *IEEE Access*, 8, 222310–222354, 2020.
- [3] V. Aliusta and R. Benzer, "Avrupa Siber Suçlar Sözleşmesi ve Türkiye'nin Dahil Olma Süreci", *Cilt:4*, 2,35–42, 2018.
- [4] Statista, "Global internet penetration rate by region 2023 | Statista," 2022. <https://www.statista.com/statistics/269329/penetration-rate-of-the-internet-by-region/> 20.03. 2023.
- [5] Statista, "Devices used to access the internet 2022 | Statista," 2022. <https://www.statista.com/statistics/1289755/internet-access-by-device-worldwide/> 20.03. 2023.
- [6] T. Aslan, B. Aktaş, and A. Akbıyık, "Kullanıcıların Bilgisayar Güvenliği Davranışını İnceleme: Siber Hijyen", *7. Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri Konferansı*, Bakırçay Üniversitesi, İzmir, 3–10, 9-11 Aralık 2020.
- [7] F. A. Loan, B. Bisma, and N. Nahida, "Global Research Productivity in Cybersecurity: A Scientometric Study", *Global Knowledge, Memory Communication*, 71, 4–5, 342–354, 2022.
- [8] İ. Tuğal, C. Almaz, and M. Sevi, "Üniversitelerdeki Siber Güvenlik Sorunları ve Farkındalık Eğitimleri", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14, 3, 229–238, 2021.
- [9] B. von Solms and R. von Solms, "Cybersecurity And Information Security – What Goes Where?", *Information Computer Security*, 26, 2–9, 2018.
- [10] B. Elango, S. Matilda, and J. Jeyasankari, "Redefining Search Terms for Cybersecurity: A Bibliometric Perspective", *SSRN Electron. J.*, 2020.
- [11] Kaspersky, "What is Cyber Security? | Definition, Types, and User Protection | Kaspersky," www.kaspersky.co.uk/p/home/resource/center/definitions/, 2019. <https://www.kaspersky.com.au/resource-center/definitions/what-is-cyber-security>. 21.02. 2022.
- [12] A. Klimburg, "**National Cyber Security Framework Manual**", 2012.
- [13] F. Wamala, "**ITU National Cybersecurity Strategy Guide**", 2011.
- [14] R. Solms and J. Niekerk, "From Information Security to CyberSecurity", *Computer Security*, 38,97–102, 2013.
- [15] M. S. Jalali, S. Razak, W. Gordon, E. Perakslis, and S. Madnick, "Health Care and Cybersecurity: Bibliometric Analysis of the Literature", *Journal Medical Internet Research* 21, 2, 12644, 2019.
- [16] P. J. Taylor, T. Dargahi, A. Dehghantanha, R. M. Parizi, and K. K. R. Choo, "A Systematic Literature Review of Blockchain Cyber Security", *Digital Communication Networks*, 6, 2, 147–156, 2020.
- [17] N. Rahim, "Bibliometric Analysis of Cyber Threat and Cyber Attack Literature: Exploring the Higher Education Context", *Cybersecurity Threat. with New Perspect.* 1–17, 2021.
- [18] B. Elango, S. Matilda, M. Martina Jose Mary, and M. Arul Pugazhendhi, "Mapping the Cybersecurity Research: A Scientometric Analysis of Indian Publications", 4, 1-17 2022.
- [19] F. A. Loan, B. Bisma, and N. Nahida, "Global research productivity in cybersecurity: a scientometric study", *Global Knowledge, Memory Communication*, 71, 4–5, 342–354, 2022.
- [20] D. Sharma, R. Mittal, R. Sekhar, P. Shah, and M. Renz, "A Bibliometric Analysis of Cyber Security and Cyber Forensics Research", *Results in Control and Optimization*, 10, 100204, 2023.
- [21] H. Ying et al., "A Bibliometric Analysis of Research on Heart Failure Comorbid With Depression from 2002 to 2021", *Heliyon*, 13054, 2023.
- [22] H. Xie, Y. Zhang, Z. Wu, and T. Lv, "A Bibliometric Analysis on Land Degradation: Current Status, Development, and Future Directions", *Land*, 9, 1, 2020.
- [23] A. L. Buczak and E. Guven, "A Survey of Data Mining and Machine Learning Methods for Cyber Security Intrusion Detection", *IEEE Communication Survey Tutorials*, 18, 2, 1153–1176, 2016.
- [24] B. Bulgurcu, H. Cavusoglu, and I. Benbasat, "Information Security Policy Compliance: An Empirical Study of Rationality-Based Beliefs and Information Security Awareness", *MIS Quarterly*, 34, 3, 523–548, 2010.
- [25] W. Wang and Z. Lu, "Cyber Security in the Smart Grid: Survey and Challenges", *Computer Networks*, 57, 5, 1344–1371, 2013.
- [26] B. A. C. Johnston and M. Warkentin, "Fear Appeals and Information Security Behaviors: an Empirical Study", *MIS Quarterly*, 34, 3, 549–566, 2010.

- [27] A. K. Jain, A. Ross, and S. Pankanti, "Biometrics: A Tool for Information Security", *IEEE Transactions. Information Forensics Security*, 1, 2, 125–143, 2006.
- [28] P. Puhakainen and M. Siponen, "Improving Employees' Compliance Through Information Systems Security Training: An Action Research Study", *MIS Quarterly. Management Information Systems*, 34, 4, 757–778, 2010.
- [29] T. Herath and H. R. Rao, "Encouraging Information Security Behaviors in Organizations: Role of Penalties, Pressures and Perceived Effectiveness", *Decision Support Systems*, 47, 2, 154–165, 2009.
- [30] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif, and D. Tipper, "A Survey on Cyber Security for Smart Grid Communications", *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 14, 4, 998–1010, 2012.
- [31] R. E. Crossler, A. C. Johnston, P. B. Lowry, Q. Hu, M. Warkentin, and R. Baskerville, "Future Directions for Behavioral Information Security Research", *Computer Security*, 32, 90–101, 2013.
- [32] P. Ifinedo, "Understanding Information Systems Security Policy Compliance: An Integration of The Theory of Planned Behavior and The Protection Motivation Theory", *Computer Security*, 31, 1, 83–95, 2012.
- [33] D. Fiala and G. Tutoky, "Computer Science Papers in Web of Science: A Bibliometric Analysis", *Publications*, 5, 4, 2017.
- [34] X. Lyu, W. Peng, W. Yu, Z. Xin, S. Niu, and Y. Qu, "Sustainable Intensification to Coordinate agricultural Efficiency And Environmental Protection: A Systematic Review Based on Metrological Visualization", *Journal Land Use Science*, 16, 3, 313–338, 2021.
- [35] M. S. Jalali, S. Razak, W. Gordon, E. Perakslis, and S. Madnick, "Health Care and Cybersecurity: Bibliometric Analysis of The Literature", *Journal Medical Internet Research*, 21, 2, 1–18, 2019.

Türkçe TTS Sistemlerinin Geliştirilmesi için Dengeli Bir Veri Kümesi Hazırlama

Araştırma Makalesi/Research Article

 Saadin Oyucu^{1*},  Mustafa Sami Cücen²,  Hüseyin Polat³

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye
²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ostim Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye
³Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

saadinoyucu@adiyaman.edu.tr, mustafasami.cucen@ostimteknik.edu.tr, polath@gazi.edu.tr

(Geliş/Received:08.08.2022; Kabul/Accepted:30.06.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1159289

Özet— Konuşma sentezleme (TTS: Text-to-Speech) sistemleri insan-bilgisayar etkileşiminin önemli bir parçasıdır. TTS işleminde bir dizi metne karşılık gelen bir dizi spektrogram tahmin edilmektedir. Elde edilen spektrogram dizisi insanların duyabileceği ses dalga formuna dönüştürülmektedir. TTS sistemlerinin başarısı, geliştirme kaynaklarının yetersizliği nedeni ile farklı diller için aynı düzeyde değildir. Bir TTS sisteminin verimli şekilde geliştirilebilmesi için ulaşılabilir, büyük boyutlu bir konuşma veri kümesine ihtiyaç duyulmaktadır. Türkçe gibi kaynak yetersizliği olan diller için konuşma veri kümelerinin eksikliği, TTS sistemleri geliştirmenin önündeki en büyük engellerden biridir. Büyük boyutlu bir veri kümesi hazırlama oldukça zaman alan, zorlu ve maliyetli bir görevdir. Bu çalışmada, Türkçe TTS sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılabilecek bir veri kümesi hazırlanmıştır. Daha önceden hazırlanan metin verisi, bir erkek konuşmacı tarafından İstanbul Türkçesi kullanılarak duygudan bağımsız olarak seslendirilmiştir. Metin verisi 109.826 kelime içermektedir. Seslendirilen konuşma verisi yaklaşık 12 saat 38 dakika 59 saniye uzunluğundadır ve 22.050 Hz. örnekleme frekansında kaydedilmiştir. Türkçe için hazırlanan bu veri kümesi daha önce İngilizce için hazırlanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiş “The LJ Speech Dataset” isimli veri kümesi ile karşılaştırılmış ve gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur. Bu veri kümesi akademik düzeyde Türkçe TTS çalışmalarını teşvik etmek için hazırlanmıştır. Hazırlanan Türkçe veri kümesinin performans durumunu gözlemlemek için GlowTTS modeli bu veri kümesi kullanılarak eğitilmiştir. Eğitilen GlowTTS modeli ile bir Türkçe TTS sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen Türkçe TTS sistemi kullanılarak sentezlenen konuşmalar ile doğal konuşmaların karşılaştırılması sonucu 2,12’lik bir MOS-LQO değeri elde edilmiştir. Elde edilen ilk sonuçlar hazırlanan veri kümesinin Türkçe TTS sistemi geliştirme çalışmalarına etkin bir katkı sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler— TTS, konuşma sentezleme, türkçe konuşma sentezleme, türkçe veri kümesi

Preparing A Balanced Corpus for Development of Turkish Speech Synthesis Systems

Abstract— Text-to-Speech (TTS) systems are an important part of human-computer interaction. In the TTS process, a series of spectrograms are predicted for a given text, which is then converted into waveforms that can be heard by humans. The success of TTS systems is not equal for different languages due to limited development resources. To efficiently develop a TTS system, a large, accessible corpus is needed. The lack of such corpuses, especially for languages with resource constraints such as Turkish, is one of the biggest obstacles to developing TTS systems. Creating a large corpus is a time-consuming, challenging, and costly task. In this study, a corpus was created that can be used in the development of Turkish TTS systems. The text data that was previously prepared was voiced by a male speaker using Istanbul Turkish, regardless of emotion. The text data contains 109,826 words. The voiced speech data is approximately 12 hours, 38 minutes, and 59 seconds long and was recorded at a sampling frequency of 22050 Hz. This Turkish corpus was compared to "The LJ Speech Dataset," which was prepared for English and yielded successful results, and suggestions were made for future studies. This corpus was prepared to encourage academic-level Turkish TTS studies while avoiding academic plagiarism. In order to observe the performance of the prepared Turkish corpus, the GlowTTS model was trained using this dataset. A Turkish TTS system was developed with the trained GlowTTS model. A MOS-LQO value of 2.12 was obtained as a result of comparing the voice synthesized using the developed Turkish TTS system with the natural voice. Preliminary results show that the prepared corpus makes an effective contribution to the

Keywords—TTS, speech synthesis, turkish speech synthesis, turkish corpus

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Konuşma sentezleme (TTS: Text-to-Speech) sistemleri temel olarak bir metnin sese dönüştürülmesini sağlayan teknolojiyi ifade etmektedir [1]. TTS sistemleri akustik, dilbilim, sinyal işleme ve istatistik gibi birçok farklı disiplinin birlikte kullanılması ile geliştirilmektedir. TTS sistemlerinden insan sesi doğallığına yakın sentetik konuşmaları üretmesi beklenmektedir. Başarı oranları giderek artan TTS sistemleri insan-makine etkileşimi, nesnelerin interneti, çağrı merkezleri, iletişim, sesli yanıt sistemleri ve eğitim alanında sesli kitap gibi farklı uygulamalarda kullanılmaktadır.

TTS alanındaki ilk uygulamalarda insan sesinin taklit edilmesi amacıyla farklı mekanik makine ve elektronik modeller geliştirilmiştir [2]. 1791'de Wolfgang Von Kempelen sadece harflerin değil tam sözcüklerin de üretilebilir olduğunu göstermiştir. Kempelen bir akustik konuşma makinesi geliştirmiştir [3]. Bilim insanları 1930'lu yıllara kadar Kempelen'in geliştirdiği makine üzerinde çalışmalar yapmıştır. 1930'lu yıllarda Bell Laboratuvarlarında konuşmayı otomatik olarak temel tonlarına ve titreşimlerine göre analiz edebilen bir ses kodlayıcı geliştirilmiştir [2]. Geliştirilen bu kodlayıcı sistem üzerinde TTS çalışmaları yapan Homer Dudley, Voder isimli ilk elektronik TTS makinesini geliştirmiştir [4]. Voder makinesi insan müdahalesi olmadan konuşma yapma yeteneğine sahip ilk sistem olarak bilinmektedir. Mekanik makinelerden elektronik sistemlere geçişten sonra Umeda ve arkadaşları tarafından 1968'de genel İngilizce metin okumayı gerçekleştiren ilk sistem geliştirilmiştir [5].

1970'lerin sonları 1980'lerin başlarında birçok TTS sistemi ticari amaçla üretilmiştir. Yazılımın yanında donanım çözümleri de içeren farklı TTS sistemleri bilgisayarlarda kullanılmaya başlanmıştır. DECtalk, Whistler, MBROLA gibi başarıları dikkate alınabilecek birçok TTS sistemi farklı diller için geliştirilmiştir. Türkçe TTS sistemi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar 1990'lı yıllarda başlamıştır [6,7]. Türkçe TTS sistemleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmalar veri kümesi hazırlama, dil modeli ve akustik model geliştirme üzerine yoğunlaşmıştır [6-8].

TTS sistemlerinin geliştirilmesi için eklemeli (birleştirmeli) sentezleme, formant (biçimlendirici) sentezleme, söyleyiş sentezleme, istatistiksel parametrik sentezleme ve son yıllarda kullanılmaya başlayan Derin Öğrenme (DL: Deep Learning) tabanlı yöntemler mevcuttur.

Eklemeli TTS sistemleri temel olarak konuşma bilgisinden uygun birimlerin seçilmesini, seçilen birimleri ekleyen algoritmaları ve ekleme sınırlarını yumuşatmak için sinyal işleme çalışmalarını içermektedir [9]. Formant tabanlı TTS sistemleri, ses yolu aktarım fonksiyonunun, formant frekansları ve formant genlikleri benzetilerek üretilebilmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalardır [10].

Söyleyiş sentezlemeyi temel alan TTS sistemleri, insanların söyleyiş davranışının doğrudan modellenmesiyle konuşmayı sentezlemeye çalışmaktadır. Bu nedenle prensipte yüksek kaliteli konuşma sentezi üretmek için en başarılı yöntem olarak kabul edilmektedir. Ancak pratikte uygulanması en zor yöntemlerden biridir [11].

İstatistiksel parametrik TTS sistemlerinde konuşma sentezi için model tabanlı bir yaklaşım izlenmektedir. Eklemeli sistemlerin aksine model tabanlı yaklaşımda, birimleri depolamak yerine her bir birime karşılık gelen modeller bir havuzda saklanmaktadır. Model tabanlı yaklaşımda ölçeklendirilen konuşma örneklerinden elde edilen parametreler için gerekli modeller, istatistiksel yöntemlerle hazırlanmaktadır [12]. Türkçe gibi sondan eklemeli bir yapıya sahip diller için TTS geliştirme yöntemi olarak en uygun yöntemin eklemeli TTS geliştirme yöntemi olduğu belirtilmiştir [13]. Bu teknik için kullanılan veri kümeleri konuşma örneklerinden oluşmaktadır. Bu örnekler sözcükler, heceler, yarı heceler, ses birimleri, çift sesler veya üçlü seslerden oluşabilir. Örneklerin birim uzunluğu, sentezlenen konuşmanın doğallık ve anlaşılabilirliğini doğrudan etkilemektedir.

Doğallık ve anlaşılabilirlik üzerine gerçekleştirilen değerlendirmelerde eklemeli TTS sistemlerinin anlaşılabilirlik için daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir [6]. Ancak doğallık değerlendirmesinde ses birimleri arasındaki geçişlerde, konuşma doğallığında sorunlar yaşanmaktadır. Doğallık sorunun önüne geçmek için son yıllarda uygulanmaya başlanan DL tabanlı TTS sistemi geliştirme yöntemleri önerilmiştir. Doğal özelliklerin öğrenilmesinde etkili olduğu kanıtlanmış derin sinir ağları ile dil özelliklerinden elde edilen akustik özellikler doğrudan haritalanmaktadır [1]. Böylelikle dil özellikleri ile akustik özellikler arasında doğrudan bir bağ kurulmaktadır. DL temelli TTS sistemleri karmaşık modeller içermekte ve bu modellerin eğitilmesi sırasında dil özelliklerinin daha iyi öğrenilebilmesi için büyük veri kümelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

DL tabanlı TTS yöntemlerinin geliştirilmesinde metin ve ses dosyalarının birebir eşleştirilmesi ile hazırlanan derlem tipindeki veri kümeleri kullanılmaktadır. Veri kümesinin büyüklüğü, konuşma sürelerinin uzunluğu, konuşmalarda geçen kelime ve benzersiz kelime sayısı geliştirilen sistemin başarısını doğrudan etkilemektedir.

İngilizce gibi zengin kaynaklara sahip dillerde TTS sistemi geliştirmek için veri kümesine erişmek kolaydır [14]. Ancak Türkçe TTS sistemi geliştirme sürecinde kullanılacak oldukça sınırlı küçük çaplı bazı veri kümeleri bulunmaktadır. Türkçe için yeterli büyüklükte ve iyi kaliteye sahip erişilebilir bir veri kümesi henüz mevcut değildir. TTS sistemi geliştirme sürecinde kullanılacak kaliteli bir veri kümesinin oluşturulması için bir konuşmacıdan çok fazla konuşma örneğinin alınması gerekir. Türkçe üzerine yapılan sınırlı veri kümesi çalışmalarında genellikle birden fazla konuşmacıdan birden fazla konuşma örneği alınmıştır [15-19]. Bu

farklılık konuşmaların aynı tonda ve özellikle modellenmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca Türkçe için daha önce geliştirilen veri kümelerinin çoğunluğu TTS görevi için değil daha çok konuşma tanıma görevi için uygundur. Yeterli kalitede ve büyüklükte Türkçe TTS veri kümesinin bulunmamasından dolayı bu çalışma kapsamında, Türkçe TTS sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılabilir doğallık ve anlaşılabilirlik başarımları yüksek, yeterli büyüklükte bir veri kümesi hazırlanmıştır. Hazırlanan veri kümesi içerisindeki her bir metin, kendisine karşılık gelen ses dosyası ile eşleştirilmiştir.

Bu çalışmanın birinci bölümü TTS sistemleri ile ilgili detaylı bilgiler verecek şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde, literatürde yer alan ve TTS sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilen farklı veri kümeleri detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü bölümde, hazırlanan Türkçe veri kümesi hakkında istatistiksel veriler analiz edilmiştir. Dördüncü bölümde deneysel sonuçlar verilmiştir. Son bölümde ise çalışma kapsamında elde edilen bulgular değerlendirilerek gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED STUDIES)

Literatürde farklı diller üzerine farklı yöntemler kullanılarak TTS sistemlerinin geliştirildiği görülmüştür. TTS çalışmalarının ilk dönemlerinde eklemeli sentezleme, formant sentezleme ve söyleyiş sentezleme yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonraki dönemlerde istatistiksel parametrik TTS sistemi geliştirme yöntemleri kullanılmıştır. Son yıllarda ise doğallık ve anlaşılabilirlik başarımları arttıran uçtan uca TTS sistemi geliştirme yöntemleri tercih edilmiştir. Uçtan uca TTS sistemi geliştirme yöntemleri ile yüksek kalite de dalga formları üretilerek başarı oranları artırılmıştır. Ancak TTS sistemlerinin başarımları sadece uygulanan yöntemle bağlı değildir. TTS sistemi geliştirilirken kullanılan veri kümesi, başarı oranları üzerinde büyük etki göstermektedir.

Formant sentezleme yöntemi birkaç parametrenin varyasyonu üzerinde çalıştığı için herhangi bir veri kümesine ihtiyaç duymamaktadır [20]. Söyleyiş sentezleme yöntemi, ses birimlerinin insan ses mekanizmasında nasıl oluşturulduğunun en hassas şekilde modellenmesini amaçlamaktadır. Ses üretim mekanizması içinde olan organların modellerini elde etmenin zorluğu nedeniyle bu organların davranışlarını yapay olarak modellemek zorlu bir görevdir [21]. Eklemeli sentezleme yöntemi ses birimlerini, belirli sinyal işleme teknikleriyle bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle birleştirilecek ses birimlerini içeren bir veri kümesine ihtiyaç duymaktadır. Bu yöntemde ses birimlerinin uzunluğu konuşmanın kalitesini doğrudan etkilemektedir. Daha uzun birimlerle, doğallık artarken daha az birleştirme noktasına ihtiyaç duyulmaktadır [21]. İstatistiksel parametrik

TTS yönteminde her bir birime karşılık gelen modeller bir havuzda saklanmaktadır. Model tabanlı yaklaşımda konuşma ölçeklendirilmekte ve konuşma ölçeklerinden elde edilen parametreler için gerekli modeller istatistiksel yöntemlerle hazırlanmaktadır [12]. Bu yöntem gerçekleştirilirken metin tabanlı bir veri kümesinin yanında akustik özellikleri de içeren bir veri kümesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Derin öğrenme tabanlı TTS sisteminin başarımları model parametrelerinin yanı sıra sistemi eğitmek için kullanılan veri kümesine de bağlıdır. Bu nedenle veri kümesi TTS sistemleri için en iyi örnekleri içerecek şekilde hazırlanmalıdır. Veri kümesinde yanlış telaffuz edilmiş veya yanlış eşleştirilmiş ifadeler yer almamalıdır. Kayıttaki gürültülerin ve sessiz kısımların temizlenmiş olması gerekir. Elde edilen ses kayıtlarındaki farklılıklar bu yöntem ile gerçekleştirilen sistemlerin başarımları negatif yönde etkilemektedir. Konuşma parçası sürelerinin dağılımı belirli istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmalıdır. Veri kümesi toplam uzunluğu konuşma sentezinin yapılacağı dile göre değişkenlik göstermektedir. Toplam uzunluğu kısa olan veri kümeleri aşırı öğrenmeyi önlemek ve modeli doğru bir şekilde eğitmek için yetersizdir. Hazırlanan veri kümesi ilgili dil için sık kullanılan sözcükler dışında, telaffuzu zor olan kelimeleri de içerecek şekilde hazırlanmalıdır [22].

Veri kümelerinde dikkat edilen özellikler konuşma dili, konuşma süreleri, konuşmacının cinsiyeti gibi bilgilerdir. [23,24]. Literatürde karşılaşılan veri kümeleri hakkında detaylı bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Derlem şeklinde hazırlanmış veri kümelerinde derlemin büyüklüğü, dilin kendi içindeki çeşitliliği (Örneğin; Türkiye’de konuşulan Türkçe ile Kuzey Kıbrıs Türkiye Cumhuriyeti’nde konuşulan Türkçe) gibi durumlar veri kümesinden elde edilebilecek bilgileri arttırmaktadır. İlgili çalışmalarda hazırlanan veri kümeleri konuşmanın uzunluğu, kelime veya cümle sayısı belirtilerek açıklanmıştır. Seslendirilen metin, alana özgü ise o metnin konusu belirtilmelidir. Li ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada hedef TTS sistemi için tarımsal metinlerin seslendirilmesi gerçekleştirilmiştir [25]. Alana özgü bir çalışma yapılacak ise seslendirilmesi gereken metin ilgili alandan konuşmaları içermelidir. Böylelikle alana özgü ifadelerin istatistiksel olarak modellenmesi daha kolay olacaktır.

Genel konuşma alanına hitap eden TTS sistemleri için farklı dillerde birçok veri kümesi oluşturma çalışması gerçekleştirilmiştir. Arapça için “Arabic Speech Corpus” isimli bir veri kümesi Southampton Üniversitesi’nde Nawar Halabi tarafından hazırlanmıştır. Bu veri kümesi, profesyonel bir stüdyo kullanılarak Şam aksanı içeren Arapça konuşmaların seslendirilmesi ile kaydedilmiştir. Erkek bir konuşmacı tarafından yaklaşık 17.040 kelime seslendirilmiştir. Bu konuşmanın uzunluğu 3,7 saattir [26].

Tablo 1. Literatürdeki veri kümeleri için özellik/birim tablosu
(Feature/unit table for corpus in the literature)

Veri Kümeleri		Özellikler (Birimler)					
Referans	Dil	Kelime Sayısı (Adet)	Benzersiz Kelime Sayısı (Adet)	Toplam Konuşma Kaydı Uzunluğu (Saat)	Konuşma Parçalarının Ortalama Uzunluğu (Saniye)	En Kısa Konuşma Parçası (Saniye)	En Uzun Konuşma Parçası (Saniye)
[27]	İngilizce	10.045	2.974	1,08	3,43	1	7
[28]	İngilizce	225.715	13.821	23,92	6,57	1,11	10,10
[29]	İngilizce	782.815	14.564	73,35	8,5	1	25
[30]	Portekizce	71.358	13.311	10,47	10,37	0,67	50,08
[31]	Kazakça (Erkek)	320.200	42.400	57,1	8,3	0,8	55,9
	Kazakça (Kadın)	245.400	34.200	36,1	7,5	1	24,2
[32]	Baskça (Kadın)	30.901	8.583	7,44	6,77	2	15
	Baskça (Erkek)	26.383	8.030	6,6	7,25	3	14
[32]	Katalanca (Kadın)	24.385	6.568	5,4	8,38	3	19
	Katalanca (Erkek)	20.261	6.514	4,02	7,53	2	18
[32]	Galiçyaca (Kadın)	49.674	6.530	7,67	6,48	2	17
	Galiçyaca (Erkek)	15.462	4.336	2,64	7,19	3	20
[32]	Arjantin İspanyolcası (Kadın)	35.360	4.107	5,61	5,15	1	11
	Arjantin İspanyolcası (Erkek)	16.914	3.343	2,42	4,79	1	10
[32]	Şile İspanyolcası (Kadın)	16.591	3.279	2,84	5,9	2	11
	Şile İspanyolcası (Erkek)	25.168	4.171	4,31	5,89	1	12
[32]	Kolombiya İspanyolcası (Kadın)	22.228	4.460	3,74	5,68	1	13
	Kolombiya İspanyolcası (Erkek)	23.957	4.459	3,84	5,45	2	11
[32]	Peru İspanyolcası (Kadın)	23.806	4.278	4,35	6,18	2	14
	Peru İspanyolcası (Erkek)	27.547	4.268	4,87	6,01	2	14

Veri Kümeleri		Özellikler (Birimler)					
Referans	Dil	Kelime Sayısı (Adet)	Benzersiz Kelime Sayısı (Adet)	Toplam Konuşma Kaydı Uzunluğu (Saat)	Konuşma Parçalarının Ortalama Uzunluğu (Saniye)	En Kısa Konuşma Parçası (Saniye)	En Uzun Konuşma Parçası (Saniye)
[32]	Porto Riko İspanyolcası (Kadın)	6.092	1.738	1	4,23	2	12
[32]	Venezuela İspanyolcası (Kadın)	15.182	3.419	2,41	5,42	2	13
	Venezuela İspanyolcası (Erkek)	16.613	3.612	2,4	4,92	1	14
[32]	Guceratça (Kadın)	23.199	8.203	4,3	6,97	1	20
	Guceratça (Erkek)	21.518	7.818	3,59	6,3	1	17
[32]	Kannadaca (Kadın)	16.062	8.622	4,31	7,11	1	25
	Kannadaca (Erkek)	14.413	7.381	4,17	7,89	1	26
[32]	Malayalamca (Kadın)	12.581	5.713	3,02	5,17	1	15
	Malayalamca (Erkek)	12.749	6.407	2,49	4,43	1	12
[32]	Marathice (Kadın)	17.989	3.072	3,02	6,92	2	16
[32]	Tamilce (Kadın)	15.880	6.620	4,01	6,18	1	13
	Tamilce (Erkek)	13.545	66.159	3,07	5,66	1	17
[32]	Teluguca (Kadın)	11.286	4.218	2,73	4,28	1	14
	Teluguca (Erkek)	11.172	4.336	2,98	4,98	1	12
[32]	Yorubaca (Kadın)	15.880	4.113	2,06	3,9	1	11
	Yorubaca (Erkek)	14.242	3.835	1,97	4,2	1	12

Düşük kaynaklı Asya ve Afrika dilleri için Google tarafından çeşitli veri kümesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda 6 farklı dil için toplamda 8 veri kümesi geliştirilmiştir. Seylanca için 13 farklı kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 3,38 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Bangladeş Bengalcesi için erkek konuşmacılar tarafından seslendirilen 2,94 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Hindistan Bengalcesi için erkek konuşmacılar tarafından seslendirilen 2,03 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Cava dili için

20 farklı erkek konuşmacı tarafından seslendirilen 3,47 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Cava dili için ek olarak 21 farklı kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 3,52 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Kmerce için 17 farklı kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 3,97 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Nepalce için 19 farklı kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 2,8 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Sundaca için 22 farklı erkek konuşmacı tarafından seslendirilen 2,17 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Sundaca

için ek olarak 21 farklı kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 3,21 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir [32]. Van Niekerk ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada Afrikaanca, Sotho, Tsvana ve Xhosa dilleri için 4 farklı veri kümesi geliştirilmiştir. Afrikaanca için 9 farklı kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 3,32 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Sotho dili için 6 farklı kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 3,22 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Tsvana dili için 8 farklı kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 3,52 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir. Xhosa dili için 5 farklı kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 3,1 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir [32,33].

Literatürde TTS sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılacak İngilizce için hazırlanmış birçok veri kümesi bulunmaktadır. "CMU_ARCTIC" veri kümesi Carnegie Mellon Üniversitesi Dil Teknolojileri Enstitüsü tarafından oluşturulmuştur. Geliştirilen veri kümesinde Amerika, Kanada, İskoçya ve Hindistan aksanlarında hazırlanmış olan 4 farklı aksan için veri kümeleri mevcuttur. Amerikan İngilizcesi hem kadın hem de erkek konuşmacı tarafından seslendirilmiştir. Ancak diğer aksanlar için sadece erkek konuşmacı tarafından seslendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu veri kümelerinin her birinin 1.150 ifadeden oluştuğu belirtilmiştir. Bu veri kümelerinin toplam 10.000'in üzerinde kelimenin kullanıldığı, 3.000'e yakın benzersiz kelimenin kullanıldığı ve toplam kayıt uzunluğunun yaklaşık 1,08 saat olduğu görülmüştür [27,34].

İngilizce için hazırlanmış ve literatürdeki çalışmalarda da sıklıkla kullanılan veri kümelerinden bir diğeri de "LJSpeech Dataset"dir. LJSpeech Dataset, metin ve ses dosyalarının eşleştirilmesi şeklinde hazırlanmış derlem tipi veri kümesinin en temel örneklerindedir. LibriVox projesi kapsamında geliştirilen bu veri kümesi 7 farklı kitap bölümlerinin tek bir konuşmacının seslendirmesiyle hazırlanmıştır. Kadın bir konuşmacı tarafından seslendirilmiş olan bu veri kümesi, 13.821'i benzersiz olmak üzere toplam 225.715 kelimededen oluşmaktadır. Bu bilgilere ek olarak 1-10 saniye arasında uzunluklara sahip 13.100 konuşma parçasından oluşan veri kümesi toplamda 24 saat uzunluğundadır [28].

İngilizce üzerine hazırlanan bir diğeri de "The World English Bible" isimli veri kümesidir. The World English Bible, Güney Amerika Birleşik Devletleri aksanlı bir erkek tarafından seslendirilmiş ve 73,35 saat uzunluğundadır [29]. Birleşik Krallık ve İrlanda'nın çeşitli yerel bölgelerinde konuşulan İngilizce aksanları için Google araştırmacıları tarafından veri kümesi çalışması yapılmıştır. Bu veri kümelerinin metin içeriği Vikipea, Grant Fairbanks kamuya açık metni olan Rainbow Passage ve Alice Harikalar Diyarında isimli eserden hazırlanmıştır. Bunlara ek olarak yerel aksanlar için çeşitli yerel cümleler eklenmiştir. İrlanda aksanı için 3 erkek konuşmacı tarafından seslendirilen veri kümesinde 1.888'i

benzersiz olan toplam 6.042 kelime mevcut olup 0,72 saat uzunluğundadır. Orta bölge aksanı için 2 kadın konuşmacı tarafından seslendirilen veri kümesi 1395'i benzersiz olan toplam 3.468 kelime içermektedir ve 0,47 saat uzunluğundadır. Orta bölge aksanı için ek olarak 3 erkek konuşmacının seslendirdiği 1.978'si benzersiz toplam 6.310 kelime içeren ve 0,73 saat uzunluğunda veri kümesi hazırlanmıştır. Kuzey bölge aksanı için 5 kadın konuşmacı tarafından seslendirilen veri kümesi 2.707'si benzersiz olan toplam 10.215 kelime içermektedir ve 1,37 saat uzunluğundadır. Kuzey bölge aksanı için ek olarak 14 erkek konuşmacının seslendirdiği 5.438'i benzersiz toplam 28.594 kelime içerip, 3,63 saat uzunluğunda veri kümesi hazırlanmıştır. İskoç aksanı için 6 kadın konuşmacı tarafından seslendirilen veri kümesi, 3.069'u benzersiz olan toplam 12.187 kelime içermektedir ve 1,58 saat uzunluğundadır. İskoç aksanı için ek olarak 11 erkek konuşmacının seslendirdiği 4.539'u benzersiz toplam 22.194 kelime içeren, 2,75 saat uzunluğunda veri kümesi hazırlanmıştır [32,35].

Literatürde farklı diller için farklı veri kümelerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Bu dillerden biri olan Estonca için hazırlanmış derlem tipi veri kümesi, kadın bir konuşmacı tarafından gazete metinlerinin seslendirilmesiyle elde edilmiştir. Toplam uzunluğu 1,08 saat uzunluğundadır [36,37]. Brezilya Portekizcesi için erkek bir konuşmacı tarafından seslendirilen 13.311'i benzersiz kelime olmak üzere toplam 71.358 kelime içeren ve 10,47 saat uzunluğunda olan bir veri kümesi geliştirilmiştir [30]. Almanca için Thorsten Müller tarafından 22,96 saat uzunluğunda bir veri kümesi hazırlanmıştır. Bu veri kümesi, profesyonel olmayan erkek bir konuşmacı tarafından seslendirilmiştir [38].

Japonca için "JSUT Corpus" isimli bir veri kümesi hazırlanmıştır. Japonca için hazırlanan veri kümesi profesyonel olmayan bir kadın konuşmacı tarafından seslendirilmiştir. Veri kümesi Vikipea'den ve farklı derlemlerden elde edilen metinlerden faydalanılarak oluşturulmuştur. Veri kümesinin toplam konuşma uzunluğu 10,27 saattir [39,40]. Kazakça için "KazakhTTS" isimli veri kümesi hazırlanmıştır. KazakhTTS veri kümesinde seslendirilen metnin içeriği siyaset, iş, spor, eğlence gibi haber sitelerinden elde edilen çeşitli makalelerin filtrelenmesiyle oluşturulmuştur. KazakhTTS profesyonel bir kadın ve bir erkek olmak üzere iki konuşmacı seslendirmiştir. Kadın konuşmacı 44 yaşında ve 14 yıllık mesleki deneyime sahiptir. Kadın konuşmacı yaklaşık 34.200'ü benzersiz kelime olan 245.400 kelimeyi seslendirmiştir. Bu konuşmanın uzunluğu 36,1 saattir. Erkek konuşmacı ise 46 yaşında ve 12 yıllık meslek deneyimine sahiptir. Yaklaşık 42.400'ü benzersiz kelime olan 320.200 kelimeyi seslendirmiş ve bu konuşmasının uzunluğu 57,1 saattir [31,41]. Hintçe için kadın konuşmacı tarafından seslendirilen, 105.115 kelimededen oluşan 25,6 saat uzunluğunda olan bir veri kümesi geliştirilmiştir. Malayalamca için kadın konuşmacı tarafından

seslendirilen, 109.245 kelimedenden oluşan 29,1 saat uzunluğunda bir veri kümesi geliştirilmiştir. Bengalce için erkek konuşmacı tarafından seslendirilen 104.891 kelimedenden oluşan 22,3 saat uzunluğunda bir veri kümesi geliştirilmiştir [42].

Hindistan'ın çeşitli yerel bölgelerinde konuşulan diller için Google araştırmacıları tarafından veri kümesi çalışmaları yapılmıştır. Guceratça için 18 kadın konuşmacı tarafından seslendirilen, 8.203'ü benzersiz olan toplam 23.199 kelime içeren ve 3 saat uzunluğunda bir veri kümesi geliştirilmiştir. Guceratça için ek olarak 18 erkek konuşmacının seslendirdiği 7.818'i benzersiz olan toplam 21.518 kelime içeren ve 3,59 saat uzunluğunda bir veri kümesi daha geliştirilmiştir [32]. Kannadaca için 23 kadın konuşmacı tarafından seslendirilen veri kümesinde 8.622'si benzersiz olan toplam 16.062 kelime içeren ve 2,84 saat uzunluğunda bir veri kümesi geliştirilmiştir. Kannadaca için ek olarak 36 erkek konuşmacının seslendirdiği 7.381'i benzersiz olan toplam 14.413 kelime içeren ve 4,17 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir [32]. Malayalamca için 24 kadın konuşmacı tarafından seslendirilen, 5.713'ü benzersiz olan toplam 12.581 kelime içeren ve 3,02 saat uzunluğunda veri kümesi hazırlanmıştır. Malayalamca için ek olarak 18 erkek konuşmacının seslendirdiği 6.407'si benzersiz olan toplam 12.749 kelime içeren ve 2,49 saat uzunluğunda bir veri kümesi geliştirilmiştir [32]. Marathice için 9 kadın konuşmacı tarafından seslendirilen 3.072'si benzersiz olan toplam 17.989 kelime içeren ve 3,02 saat uzunluğunda veri kümesi geliştirilmiştir [32].

Dünya genelinde farklı diller için veri kümesi oluşturma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ancak mevcut durumda Türkçe TTS sistemi geliştirebilmek için araştırmacıların kullanabileceği yeterli büyüklükte bir veri kümesi mevcut değildir. İstatiksel parametrik ve DL tabanlı TTS sistemi geliştirme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalarda ilgili çalışmaya özgü bazı Türkçe veri kümeleri hazırlanmıştır. Orhan ve Demiroğlu'nun yaptığı bir çalışmada iki kadın konuşmacı tarafından seslendirilmiş toplam 1.750 cümleden oluşan bir veri kümesi geliştirilmiştir [24]. Güner ve Demiroğlu'nun yaptığı çalışmada İstanbul Türkçesi konuşan kadın bir konuşmacının 500 kelimeyi seslendirdiği 70 dakika uzunluğunda bir veri kümesi hazırlanmıştır [43]. Bu veri kümelerinin İngilizce ve diğer diller için hazırlanmış çalışmalardaki veri kümesi uzunlukları dikkate alındığında çok yetersiz olduğu görülmektedir. Gökay ve Yalçın tarafından hazırlanmış bir başka çalışmada ise TTS sisteminin eğitimi için profesyonel bir konuşmacı tarafından seslendirilmiş 18 saatlik bir konuşma verisinin kullanıldığı belirtilmiştir [44]. Ancak belirtilen bu veri kümeleri araştırmacılar için ulaşılabilir değildir.

3. KONUŞMA SENTEZLEME İÇİN TÜRKÇE VERİ KÜMESİNİN HAZIRLANMASI (PREPARING OF TURKISH CORPUS FOR SPEECH SYNTHESIS)

Çok katmanlı yapay sinir ağlarını kullanan TTS sistemlerinde dil özelliklerinden akustik özelliklere doğrudan haritalama işlemi gerçekleştirilmektedir. Konuşma sentezi için DL tabanlı yöntemleri benimseyen çok sayıda modelden biri de tamamen uçtan uca konuşma sentez modeli sunan ve kodlayıcı-kod çözücü mimarisini kullanarak giriş metninden mel spektrogramları üreten modellerdir. Mel spektrogramları üzerinde işlem yapmanın zor olması ve akış-tabanlı bir model kullanılması nedeniyle bu modeli eğitmek oldukça maliyetlidir [45]. Modelin başarısı eğitiminde kullanılacak veri kümesine doğrudan bağlıdır. Dolayısıyla TTS sistemi geliştirilmeden önce ilgili dil için uygun veri kümesinin oluşturulması gerekir.

Türkçe TTS sistemleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde hece tabanlı veri kümeleri ve difon tabanlı veri kümeleri hazırlamaya yönelik çalışmaların gerçekleştirildiği görülmüştür [46,47]. Ancak istatistiksel parametrik TTS ve DL tabanlı TTS geliştirme yöntemleri için derlem şeklinde veri kümeleri hazırlanmıştır. Bu veri kümelerinde dikkat edilmesi gereken özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Türkçe üzerine hazırlanmış derlemlerin konuşma tanıma sistemleri ve istatistiksel parametrik TTS sistemleri üzerine uygulandığı görülmüştür [23, 44].

Tablo 2. Veri kümesi için özellik/birim tablosu
(Feature/unit table for corpus)

Özellik	Birimi
Konuşmanın Dili	Türkçe, İngilizce, İspanyolca vb.
Konuşmanın Süresi	Saat
Konuşmanın Kategorisi	Metin konusu
Konuşmacının Cinsiyeti	Kadın/Erkek
Konuşmacının Yaşı veya Yaş Düzeyi	Çocuk, yaşlı, 18 ve üzeri veya genç
Konuşmacının Şive Türü	İstanbul Türkçesi, Ege veya Karadeniz Şivesi
Konuşma Parçasının Ortalama Süresi	Saniye
Konuşma Parçasının Minimum Süresi	Saniye
Konuşma Parçasının Maksimum Süresi	Saniye
Benzersiz Kelime/Cümle Sayısı	Adet
Toplam Kelime/Cümle Sayısı	Adet

3.1. Genel Süreçler

Veri kümesi hazırlanırken konuşma sentezleme sisteminin hedeflerini ve kullanım amacını netleştirmek önemlidir. Amaca uygun içerik kaynaklarının seçilmesi gerekir. TTS sisteminin amacı ve kullanım alanına göre derlem tipinde hazırlanmış bir veri kümesinin içeriği günlük konuşmalar, edebi metinler, haber bültenleri

içeriği veya mantıksal bağlantısı olmayan bir dizi bağımsız cümle olabilir. Bu konuların çeşitlendirilerek özenle seçilmesi gerekir.

Veri kümesinin alanına uygun kaynaklar belirlendikten sonra veri kümesi tasarımına geçilmelidir. Bu aşamada, toplanan verilerin türü ve kapsamı belirlenmeye çalışılır. Tasarım sonucunda elde edilen toplam kelime sayısı ve benzersiz kelime sayısı gibi istatistiksel bilgiler veri kümesinin daha dengeli bir yapıda olmasını sağlayacaktır. Özellikle üretken dil yapısına sahip Türkçe için daha fazla benzersiz kelimenin seslendirilmesi gerekir. Daha fazla farklı kelimenin seslendirilmesi fonemler arasındaki tahmin bağlantılarını güçlendirmektedir. Konuşmanın toplam uzunluğu, veri kümesi için önemli noktalardan biridir. Ayrıca her bir konuşma parçasının uzunluğu, geliştirilen model yapısında kullanılacak batch size (bir yinelemede kullanılan eğitim örneklerinin sayısı) ve epoch (model eğitim adımlarının her biri) süresi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Metin ve ses kaydı olarak birebir eşleştirilen konuşmalar kısa konuşma parçaları halinde saklanmalıdır.

Veri kümesinde yer alan konuşma içeriğinin yanı sıra konuşmacı hakkındaki bilgiler de geliştirilecek olan TTS sisteminin başarısını etkilemektedir. Konuşmacının cinsiyeti, ana dili ve kullandığı şive sentezlenen konuşmanın doğallığı ve anlaşılabilirliğine etki etmektedir. Literatürde aynı dil için hazırlanan veri kümelerinde farklı cinsiyete sahip konuşmacılardan faydalanılmıştır. Konuşmacının kullandığı şive türü sentezlenecek konuşmanın da aynı şive yapısına sahip olmasına neden olacaktır. Bu nedenle olabildiğinde şive kullanımından kaçınılmalıdır.

Kaydedilen veriler için temizleme ve doğrulama işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Bu aşamada, ses kayıtları gerçek kullanıcıların kontrolü ile değerlendirilmeli ve veri kümesindeki tutarsızlıklar veya hatalar düzeltilmelidir. Daha sonra veri kümesinde varsa sessizlik anlarının temizlenmesi gerekmektedir. Bu işlemin ana nedeni TTS sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılan modellerde ses ve metin eşleştirmesinin daha net yapılmasını sağlamaktır. Ses-metin hizalamaları yapılırken ses kayıtlarının başında, sonunda ve içerisinde yer alan sessizlik anları model geliştirilirken gerçekleştirilen hizalamaları negatif yönde etkilemektedir.

3.2. Veri Kümesinin Hazırlanması

Genel süreçler göz önünde bulundurularak hazırlanan veri kümesi kullanım amacına uygun olarak hazırlanmıştır. Veri kümesi hazırlanırken Türkçe atasözleri, haber bültenleri, raporlar, kitap bölümleri, dini, edebi ve tarihi metinler, ülkelerin isimleri, Türkiye Cumhuriyeti'nin illeri, ilçeleri, çeşitli mahalle ve cadde isimleri, Türkiye Cumhuriyeti'nin çeşitli kurum ve kuruluşlarına ait isimler, sayılar ve mantıksal bağlantısı

olmayan bir dizi bağımsız cümleler kullanılmıştır. Cümleler oluşturulurken ve seçilirken; Türkçe'nin, Ural-Altay dilleri grubuna bağlı sondan eklemeli yapısı göz önüne alınarak sona eklenen yapımlar ve çekim eklerine, ses değişimi (ses yumuşaması, ses sertleşmesi, ses düşmesi, ses eklemesi ve ulama gibi) kurallarına, sestek kelimelere, düzenli veya devrik cümle yapılarına ve vurgulamalara dikkat edilmiştir.

Veri kümesi tasarımı kapsamında, konuşmacı seçimi ve toplanacak verilerde hedeflenen istatistiksel veriler benzer veri kümeler göz önünde bulundurularak planlanmıştır. Bir konuşmacı seçiminde daha geniş konuşmacı sınıfına ulaşmak için en çok cinsiyet ve yaş dikkate alınmaktadır [48]. Farklı dillerde hazırlanan benzer veri kümelerinde [30,38] konuşmacı özelliklerine benzer şekilde İstanbul Türkçesi kullanan genç erkek konuşmacı tercih edilmiştir. Hazırlanan metin verisi daha önce profesyonel eğitim almış gönüllü bir konuşmacı tarafından seslendirilmiştir.

Konuşma kayıtları Audio Technica marka stüdyo tipi kardoid kondansatör özelliğine sahip bir mikrofon kullanılarak elde edilmiştir. Kayıt esnasında çevre gürültüsü ve ses patlamalarını azaltmak için bir pop filtresi kullanılmıştır. Bu mikrofonun tercih edilmesindeki en önemli özellikler kullanımının basit, gürültüsüz ve çok yönlü ses alabilmesidir. Kayıtların alınması için ofis ortamında ses yalıtımı yapılarak bir stüdyo hazırlanmıştır. Elde edilen veriler, tek kanallı, örnekleme hızı 22050 Hz ve bit derinliği 32-bit kayan olarak .wav formatında saklanmıştır.

3.3. Veri Ön İşleme ve Doğrulama Süreçleri

Literatürde Türkçe TTS sistemleri için hazırlanan veri kümelerinde, noktalama işaretleri ve kısaltmalardaki telaffuz farklılıkları, nümerik ifade kombinasyonlarındaki okuma alışkanlıkları ve ses değişimlerinin dikkate alınmadığı belirtilmiştir [49]. Bu nedenle çalışma kapsamında elde edilen konuşma kayıtları veri ön işleme ve doğrulama aşamasından önce 5 farklı kullanıcı tarafından kontrol edilmiştir. Elde edilen bütün kayıtlar 4 eşit parçaya ayrılarak kontrol amaçlı 4 farklı kullanıcıya sunulmuştur. Kullanıcılar bütün kontrolleri gerçekleştirdikten sonra son kontrolcü, kontrol edilen bütün kayıtları birleştirmiş ve tekrar kontrol işlemini gerçekleştirmiştir.

Veri ön işleme ve doğrulama aşaması için bütün ses kayıtları tek tek kontrol edilerek kaliteleri değerlendirilmiştir. Veri kümesindeki tutarsızlıklar veya hatalar tespit edilip düzenlenmiş veya veri kümesinden çıkarılmıştır. Bu kapsamda 100'e yakın ses dosyası veri kümesinden çıkarılmıştır. Veri kümesinin ön işleme ve doğrulama aşamasında konuşma içerisindeki sessizlik anları konuşma kaydından silinmiştir. Ses kayıtlarındaki sessizlik durumları kontrol edilerek ilgili kayıt içerisinden çıkarılmıştır.

Konuşma kayıtları içerisindeki sessizlik durumlarının tespiti ve kaldırılması için öncelikle durağan ve aralıklı konuşmalardaki sessizlik bilgisi tespit edilmiştir. Bu işlem için her bir konuşma parçasındaki ses dalgalarının örneklem frekansı ve genliğinden yararlanılmıştır. Belirli bir frekans ve genlik değerinin aşağısında yer alan konuşma bilgisinde sessizliğin olduğu varsayılmıştır. Eşik değerinin altına düşüldüğü ilk andan itibaren arka planda bir zaman sayacı tutulmuştur. Bu sayacı sessizlik ile karşılaştığı ilk andan itibaren sürekli olarak arttırılmıştır. Sayacı belirli bir sınır değerine ulaştığında sessizlik bilgisinin var olduğu tespit edilmiştir. Son işlem olarak sayacın başlama zamanından bitiş zamanına kadar olan içerik konuşma kaydından silinmiştir.

Otomatik olarak gerçekleştirilen sessizliklerin tespiti ve kaldırılması işleminin yanı sıra gerçek kullanıcılar tarafından sessizlik kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kontrol işlemlerinde ses kayıtlarının başlangıcı ve sonlarındaki sessizlik anları silinmiştir. Böylelikle geliştirilecek olan modellerde sessizlik anları dikkate alınmayacaktır. Metin-ses hizalamalarında zaman değişimi olmayacak ve model parametreleri herhangi bir sapmaya uğramayacaktır.

Kontrol işlemlerinde sadece sessizlik anları değil aynı zamanda metinlerin okunuşları da kontrol edilmiştir. Gerçek kullanıcılar tarafından gerçekleştirilen bu işlem sayesinde metinlerin telaffuzlarının doğruluğu kontrol edilmiştir. Sadece kelimelerin okunuşlarına değil aynı zamanda rakamlar, sayılar ve kısaltmaların da okunuşlarına da dikkat edilmiştir. Yanlış veya eksik telaffuzlar veri kümesinden çıkarılmıştır.

Türkçedeki kısaltmalar üzerine hem eğitim hem de eğitim sonrasında giriş metni üzerinde çalışabilecek ek bir liste hazırlanmıştır. Bu listede yer alacak kısaltmalar için Türk Dil Kurumu'nun belirlediği kısaltmalardan yararlanılmıştır. Kısaltmaların veri kümesine eklenmesinde yazılışları değil okunuşları dikkate alınmıştır. Böylelikle ses-metin hizalamasında karakter bazlı değil fonem temelli hizalamada kullanılabilir bir veri sunulmuştur.

Nümerik ifade kombinasyonları için veri kümesinde seslendirilen metnin içine çeşitli nümerik ifadeler eklenmiştir. Nümerik ifadelerin veri kümesinde eklenmesi işleminde nümerik ifadelerin yazılışları değil okunuşları dikkate alınmıştır. Ayrıca para birimlerini ve bu birimlerin okunuşları veri kümesine eklenmiştir. Böylelikle hesaplama ve para birimleri ile ilgili konuşma sentezlerinin daha gürbüz sonuçlar vereceği ön görülmektedir.

Veri kümesinin doğrulama işlemlerinde son işlem olarak noktalama işaretleri gözden geçirilmiştir. Metinlerin okunuşlarındaki vurguları net olarak ortaya koyabilmek ve konuşma sentezinde gerekli vurguları elde edebilmek için noktalama işaretleri tek tek kontrol

edilmiştir. Bu kontrol işlemlerinde özellikle virgül ve nokta işaretlerine dikkat edilmiştir. Tüm bu süreçlerden sonra elde edilen veri kümesine ait istatistiksel özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

3.4. Veri Kümesine Ait İstatistiksel Özellikler

Veri boyutunu ve çeşitliliğini belirlemek, kelime dağarcığını zenginleştirmek ve farklı metinlerin doğru bir şekilde sentezlenmesini sağlamak amacıyla önemli bilgiler sunan istatistiksel özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Türkçe veri kümesi için özellik birim tablosu
(Feature unit table for Turkish corpus)

İstatistiksel Özellikler	Türkçe Veri Kümesi
Toplam Kelime Sayısı	109.826 Adet
Benzersiz Kelime Sayısı	35.050 Adet
Toplam Karakter Sayısı	745.011 Adet
Toplam Konuşma Uzunluğu	12 Saat 38 Dakika 59 Saniye
Toplam Konuşma Parçası Sayısı	8.480 Adet
Ortalama Konuşma Parçası Uzunluğu	5,19 Saniye
Minimum Konuşma Parçası Uzunluğu	0,54 Saniye
Maksimum Konuşma Parçası Uzunluğu	9,85 Saniye
Konuşma Parçası Başına Düşen Ortalama Kelime Sayısı	12,95 Adet
Konuşmacının Cinsiyeti	Erkek
Konuşmacının Yaş Düzeyi	Genç
Konuşmacının Ağız Türü	İstanbul Türkçesi

Tablo 3'teki verilen konuşma parçalarının uzunluklarına ait çeşitli istatistikler TTS sisteminin ortalama bir konuşma süresine göre optimize edilip edilmediğini belirlemek, farklı uzunluktaki konuşmalara nasıl tepki vereceğini anlamak ve sınırları belirlemek için detaylı bilgiler içermektedir.

Tablo 4. Kelime frekansı analizi sonuçları
(Result of word frequency analysis)

Kelime	Tekrarlama Sayısı
bir	2.144
kimlik	574
olarak	557
bin	473
yüz	424
on	357
olan	337
tarafından	292
ilgili	289
dokuz	287

Hazırlanan veri kümesi içerisinde yer alan metinler hakkında genel bir fikir edinebilmek için kelime frekansı analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen en sık kullanılan 10 kelime Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4’te verilen kelime frekansı analizi sonuçlarına göre en sık kullanılan kelimenin “bir” olduğu görülmüştür. Kelime frekansı analizi, sık kullanılan kelimelerin sentezlenmesinde doğru vurgu ve doğal akıcılık sağlamak için önemlidir. Sık kullanılan kelimelerin doğru bir şekilde sentezlenmesi, TTS sisteminin genel anlaşılabilirliğini ve performansını artıracığı düşünülmektedir. Aynı zamanda, kelime frekansı analizi, TTS sisteminin dil modellerinin ve sentezleme stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılabilir.

Kelime frekansına ek olarak kelime başına düşen karakter sayısı hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen işlemler sonucunda kelime başına düşen ortalama karakter sayısı 5,84 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, hazırlanan veri kümesi ile geliştirilecek olan bir Türkçe TTS sisteminin kelime dağarcığı hakkında detaylı bilgiler vermektedir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Yapılan araştırmalarda Türkçe dili için eklemeli TTS sistemlerinin anlaşılabilirlik için daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak aynı yöntemin kullanıldığı TTS sistemlerinde ses birimleri arasındaki geçişlerde ve konuşma doğallığında sorunlar yaşanmaktadır. Doğallık sorunun önüne geçmek için DL tabanlı uçtan uca TTS yöntemleri tercih edilmektedir. DL temelli yaklaşımların başarılı olabilmesi için büyük boyutta metin ve ses dosyalarının eşleştirilmesi şeklinde hazırlanan veri kümesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Metin ve ses dosyalarının eşleştirilmesi şeklinde hazırlanmış veri kümelerinin en iyi örneklerinden biri

Tablo 5. The LJ Speech Dataset veri kümesi için özellik birim tablosu
(Feature unit table for The LJ Speech Dataset)

İstatiksel Özellikler	The LJ Speech Dataset (İngilizce)	Common Voice Corpus 13.0 (Türkçe)	Türkçe Veri Kümesi
Toplam Konuşma Parçası Sayısı	13.100 Adet	97.249 Adet	8.480 Adet
Toplam Kelime Sayısı	225.715 Adet	453.403 Adet	109.826 Adet
Toplam Karakter Sayısı	1.308.678 Adet	2.787.432 Adet	745.011 Adet
Toplam Konuşma Uzunluğu	23 Saat 17 Dakika 55 Saniye	98 Saat 8 Dakika 57 Saniye	12 Saat 38 Dakika 59 Saniye
Ortalama Konuşma Parçası Uzunluğu	6,57 Saniye	3,63 Saniye	5,19 Saniye
Minimum Konuşma Parçası Uzunluğu	1,11 Saniye	0,46 Saniye	0,54 Saniye
Maksimum Konuşma Parçası Uzunluğu	10,10 Saniye	10,82 Saniye	9,85 Saniye

olan “The LJ Speech Dataset” ile yapılan İngilizce TTS geliştirme çalışmalarında MOS değeri 4,52 olarak elde edilmiştir. İngilizcede doğal insan konuşması için MOS değerinin 4,58 olduğu göz önüne alındığında başarılı sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir [45]. İlgili çalışmalar incelendiğinde hazırlanan veri kümesi ile geliştirilecek olan Türkçe TTS sistemlerinin başarılı sonuçlar vereceği tahmin edilmektedir. Tablo 5’te İngilizce TTS çalışmalarında başarılı sonuçlar veren The LJ Speech Dataset’e ait özellik birim tablosu bu çalışmada hazırlanan veri kümesi ile karşılaştırılarak verilmiştir. Ek olarak konuşma özellikli uygulamaları eğitmek için kullanılabileceği açık kaynaklı, çok dilli bir konuşma veri kümesi olan Mozilla Common Voice Corpus 13.0 ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Tablo 5’te verilen özellik birim tablosu incelendiğinde İngilizce için başarılı sonuçlar veren The LJ Speech Dataset veri kümesinin bu çalışmada hazırlanan veri kümesi ile benzer özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Toplam konuşma süresi İngilizce için hazırlanan veri kümesinde daha uzundur. Toplam konuşma süresi, veri kümesinin boyutu ve içeriği hakkında fikir edinebilmek için önemlidir. Toplam konuşma süresi, TTS sistemi için gerekli olan tahmin modelinin daha fazla spektrogram örneği görmesini sağlar. Bu durum TTS modelinin kelime dağarcığını arttırabileceği gibi aynı zamanda konuşma örneklerindeki temel frekans farklılıklarının daha iyi modellenmesini sağlar.

Tablo 5’te Türkçe olarak erişime sunulan Common Voice Corpus 13.0 veri kümesi hakkında detaylı bilgilerde verilmiştir. Bu veri kümesi birden fazla kullanıcıdan birden fazla örnek alınarak oluşturulmuştur. Akustik model geliştirmek ve akustik bilgi edinmek için kullanılması mümkündür. Ancak TTS sistemlerinde kullanılabilecek tek kullanıcıdan çok fazla örneği içermemektedir. Mevcut durumda Common Voice Corpus 13.0 veri kümesinde 1.775 kayıtlı konuşmacı mevcuttur [50].

Konuşma Parçası Başına Düşen Ortalama Kelime Sayısı	17,23 Adet	4,66 Adet	12,95 Adet
Benzersiz Kelime Sayısı	13.821 Adet	61.830 Adet	35.050 Adet

Hazırlanan Türkçe TTS veri kümesinin uygulanabilirliğini test etmek amacıyla bir TTS sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen Türkçe TTS sisteminde GlowTTS [51] kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen sentezlenmiş ses ile doğal ses arasındaki ses kalitesi nesnel olarak ölçülmüştür. Nesnel bir ölçüm işlemi için ViSQOL (Virtual Speech Quality Objective Listener) [52] kullanılmıştır. ViSQOL, iki konuşma sinyali arasındaki benzerlik özelliklerini çıkarmakta ve bu özellikleri kullanarak sinyaller arasındaki farkı hesaplamaya çalışmaktadır. Gerçekleştirilen karşılaştırmalar sonucunda Ortalama Görüş Puanı-Dinleme Kalitesi Hedefi (MOS-LQO: Mean Opinion Score- Listening Quality Objective) [53] değeri elde edilmektedir.

Hazırlanan veri kümesi her biri 261 adım olan 200 çevrimlik model ile GlowTTS kullanılarak eğitilmiştir. Bu eğitim sonucunda yapılan deneylerde MOS-LQO değeri 5 üzerinden 2,12 olarak ölçülmüştür. Gerçekleştirilen TTS geliştirme işlemi dile özgü ek bir çalışma yapılmadan uçtan uca TTS geliştirme yapıları kullanılarak bir Türkçe TTS sisteminin geliştirilebilir olduğunu göstermiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada hazırlanan veri kümesi kullanılarak gelecekte daha kapsamlı Türkçe TTS sistemlerinin geliştirilmesi planlanmaktadır. Türkçe TTS sisteminin geliştirilmesi aşamasında kullanılacak konuşmanın doğallığı ve anlaşılabilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahip DL tabanlı GlowTTS gibi birçok araç ve yöntem mevcuttur.

Sonraki çalışmalarda Tacotron + WaveNet ve Tacotron 2 + HiFi-GAN tabanlı yöntemler kullanılarak bir Türkçe TTS sisteminin geliştirilmesi planlanmaktadır. Tacotron 2, WaveNet ve HiFi-GAN çalışmalarına dayanarak, mevcut TTS sistemlerinin insan seviyesinde kaliteye ulaşıp ulaşamayacağı LJSpeech veri kümesinde test edilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır [45].

FastSpeech 2 + HiFi-GAN, Glow-TTS + HiFi-GAN, GradTTS + HiFi-GAN sistemleri üzerine yapılan çalışmalar [54], İngilizce konuşmaların yüksek kalitede sentezlenebileceğini göstermiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen veri kümesi, Türkçe için uygulanabilirliğini yapılan küçük eğitim sonucu alınan ortalama sonuç ile göstermiştir. İleride İngilizce gibi başarılı TTS çalışmalarında kullanılan yöntemler temel alınarak Türkçe için bir TTS sistemi geliştirilecektir.

Gerçekleştirilecek çalışmalar ile veri kümesinin farklı yöntemler üzerindeki başarısı net olarak ortaya çıkarılacaktır. Ayrıca veri kümesinin kullanımının yaygınlaştırılması sağlanarak TTS alanında gerçekleştirilen Türkçe çalışmaların artırılması hedeflenmiştir.

TEŞEKKÜR (THANKS)

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından desteklenmiştir (Proje no: 121E479)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Y. Ning, S. He, Z. Wu, C. Xing, L. J. Zhang, "Review of deep learning based speech synthesis", *Appl. Sci.*, 9(19), 1–16, 2019.
- [2] S. Lemmetty, **Review of speech synthesis technology**, Yüksek Lisans Tezi, Helsinki University of Technology, Department of Electrical and Communications Engineering, 1999.
- [3] H. Dudley, T. H. Tarnóczy, "The Speaking Machine of Wolfgang von Kempelen", *J. Acoust. Soc. Am.*, 22 (2), 151–166, 1949.
- [4] H. Dudley, "The Carrier Nature of Speech", *Bell Syst. Tech. J.*, 19 (4), 495–515, 1940.
- [5] N. Umeda, R. Teranishi, "The Parsing Program for Automatic Text-to-Speech Synthesis Developed at the Electrotechnical Laboratory in 1968", *IEEE Trans. Acoust.*, 23 (2), 183–188, 1975.
- [6] A. E. Yılmaz, "Türkçe Metinden Konuşma Sentezleme Uygulamaları İçin Bir Veri Sözlük Seti ve Yazılım Çerçevesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg.*, 24 (4), 735–744, 2009.
- [7] İ. Y. Özüm, **A Speech Synthesis System for Turkish Language Based on the Concatenation of Phonemes Taken from Speaker**, Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 1993.
- [8] B. Eker, **Turkish Text To Speech System**, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent University, The Department of Computer Engineering, 2002.
- [9] R. A. Khan, J. S. Chitode, "Concatenative Speech Synthesis: A Review", *Int. J. Comput. Appl.*, 136 (3), 1–6, 2016.
- [10] Y. Tabet, M. Boughazi, "Speech synthesis techniques. A survey", **7th Int. Work. Syst. Signal Process. their Appl. WoSSPA 2011**, 67–70, 2011.

- [11] M. Z. Rashad, H. M. El-Bakry, I. R. Isma'il, N. Mastorakis, "An overview of text-to-speech synthesis techniques", **Int. Conf. Commun. Inf. Technol. - Proc.**, 84–89, 2010.
- [12] D. Govind, S. R. M. Prasanna, "Expressive speech synthesis: A review", *Int. J. Speech Technol.*, 16 (2), 237–260, 2013.
- [13] R. Aşlıyan, K. Günel, "Türkçe metinler için hece tabanlı konuşma sentezleme sistemi", **Akademik Bilişim 2008**, Çanakkale, Türkiye, 31–38, 2008.
- [14] H. Zen, V. Dang, R. Clark, Y. Zhang, Y. Jia, Z. Chen, Y. Wu, "LibriTTS: A corpus derived from librispeech for text-to-speech", **Conference of the International Speech Communication Association**, Graz, Avusturya, 15-19 Eylül, 2019.
- [15] O. Salor, B. Pellom, T. Ciloglu, K. Hacıoglu, M. Demirekler, "On developing new text and audio corpora and speech recognition tools for the Turkish language", **International Conference Spoken Language Processing**, Denver, Colorado, Amerika Birleşik Devletleri, 16-20 Eylül, 2002.
- [16] O. Salor, T. Ciloglu, K. Hacıoglu, M. Demirekler, "On developing new text and audio corpora and speech recognition tools for the Turkish language", **International Conference Spoken Language Processing**, Denver, Colorado, Amerika Birleşik Devletleri, 16-20 Eylül, 2002.
- [17] O. Salor, B. Pellom, T. Ciloglu, M. Demirekler, "Turkish speech corpora and recognition tools developed by porting SONIC: Towards multilingual speech recognition", *Computer Speech Language*, 21(4), 580-593, 2007.
- [18] E. Arisoy, D. Can, S. Parlak, H. Sak, M. Saraclar, "Turkish broadcast news speech and transcripts", *IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing*, 17(5), 874 – 883, 2009.
- [19] İnternet: Türkçe Ulusal Derlemi (TUD) – Turkish National Corpus (TNC), <https://www.tnc.org.tr/tr/>, 05.04.2023.
- [20] M. Jalil, F. A. Butt, A. Malik, "A survey of different speech synthesis techniques", **2013 Int. Conf. Technol. Adv. Electr. Electron. Comput. Eng. TAECE 2013**, 204–207, 2013.
- [21] İ. B. Uslu, "Metinden Konuşma Sentezleme", **TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Haber Bülteni**, 11–14, 2010.
- [22] A. Dunaev, **A Text-to-Speech System Based on Deep Neural Networks**, Lisans Tezi, KIT Department of Informatics, Institute for Anthropomatics and Robotics (IAR), Interactive Systems Labs (ISL) Karlsruhe Institute of Technology, 2019.
- [23] B. S. Gürler, **Türkçe Konuşma Tanıma Sistemleri İçin Bir Konuşma Veritabanı**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, 2014.
- [24] M. C. Orhan, C. Demiroğlu, "Konuşmacı Aradeğerlemeli SMM Tabanlı Metinden Konuşma Sentezleme Sistemi", **2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU 2011)**, 781–784, 2011.
- [25] X. Li, D. Ma, B. Yin, "Advance research in agricultural text-to-speech: the word segmentation of analytic language and the deep learning-based end-to-end system", *Comput. Electron. Agric.*, 180, 1–10, 2021.
- [26] N. Halabi, **Modern Standard Arabic Phonetics for Speech Synthesis**, Doktora Tezi, University of Southampton, Faculty of Physical Sciences and Engineering School of Electronics and Computer Science, 2016.
- [27] İnternet: Festvox, CMU_ARCTIC Databases, http://festvox.org/cmu_arctic/, 23.04.2022.
- [28] İnternet: The LJ Speech Dataset, <https://keithito.com/LJ-Speech-Dataset/>, 23.04.2022.
- [29] İnternet: Kaggle, The World English Bible, <https://www.kaggle.com/datasets/bryanpark/the-world-english-bible-speech-dataset?select=transcript.txt>, 23.04.2022.
- [30] E. Casanova vd., "TTS-Portuguese Corpus: a corpus for speech synthesis in Brazilian Portuguese", *Lang. Resour. Eval.*, 2022.
- [31] İnternet: Papers With Code, KazakhTTS Dataset, <https://paperswithcode.com/dataset/kazakhTTS>, 23.04.2022.
- [32] İnternet: openslr.org, <https://www.openslr.org/>, 23.04.2022.
- [33] D. Van Niekerk vd., "Rapid development of TTS corpora for four South African languages", **Proc. Annu. Conf. Int. Speech Commun. Assoc. INTERSPEECH**, 2178–2182, 2017.
- [34] J. Kominek, A. W. Black, "The CMU Arctic Databases for Speech Synthesis", **Proc. ISCA Work. Speech Synth.**, 223–224, 2004.
- [35] I. Demirşahin, O. Kjartansson, A. Gutkin, C. Rivera, "Open-source Multi-speaker Corpora of the English Accents in the British Isles", **Proc. 12th Language Resources and Evaluation Conference (LREC 2020)**, 6532- 6541, 2020.
- [36] İnternet: Meta-Share, Estonian Emotional Speech Corpus, <https://metashare.ut.ee/repository/browse/estonian-emotional-speech-corpus/4d42d7a8463411e2a6e4005056b40024a19021a316b54b7fb707757d43d1a889/>, 23.04.2022.
- [37] R. Altrov, H. Pajupuu, "Estonian Emotional Speech Corpus: theoretical base and implementation", **4th International Workshop on Corpora for Research on Emotion Sentiment & Social Signals ES3 2012**, 50–53, 2012.
- [38] İnternet: T. Müller and D. Kreutz, Thorsten-Voice- 'Thorsten-21.02-neutral' Dataset, <https://zenodo.org/record/5525342>, 23.04.2022
- [39] İnternet: Papers With Code, JSUT Corpus Dataset, <https://paperswithcode.com/dataset/jsut-corpus>, 23.04.2022.
- [40] R. Sonobe, S. Takamichi, H. Saruwatari, "JSUT corpus: free large-scale Japanese speech corpus for end-to-end speech synthesis", **ICASSP2018**, 2017.
- [41] S. Mussakhoyayeva, A. Janaliyeva, A. Mirzakhmetov, Y. Khassanov, H. A. Varol, "KazakhTTS: An open-source Kazakh text-to-speech synthesis dataset", **Proc. Annu. Conf. Int. Speech Commun. Assoc. INTERSPEECH**, 3511–3515, 2021.
- [42] N. Srivastava, R. Mukhopadhyay, K. R. Prajwal, C. V Jawahar, "IndicSpeech: Text-to-Speech Corpus for Indian Languages", **Proc. 12th Language Resources and Evaluation Conference (LREC 2020)**, 6417- 6422,2020.

- [43] E. Guner, C. Demiroglu, "A small footprint hybrid statistical/unit selection text-to-speech synthesis system for agglutinative languages", **ICASSP, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.**, 4537–4540, 2012.
- [44] R. Gokay ve H. Yalcin, "Improving Low Resource Turkish Speech Recognition with Data Augmentation and TTS", **16th Int. Multi-Conference Syst. Signals Devices, SSD 2019**, 357–360, 2019.
- [45] J. Shen vd., "Natural TTS Synthesis by Conditioning Wavenet on MEL Spectrogram Predictions", **2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)**, 4779-4783, 2018.
- [46] H. Tora, İ. B. Uslu, T. Karamahmet, "Implementation of Turkish text-to-speech synthesis on a voice synthesizer card with prosodic features", *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering*, 18(3), 584-594, 2017.
- [47] I. B. Uslu, H. K. İlk, "A rule based perceptual intonation model for Turkish text-to-speech synthesis", **2012 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)**, Muğla, Türkiye, 18-20 Nisan, 2012.
- [48] T. Schultz, **Speaker Classification I**, C. Müller, 4343, Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [49] İ. Sel, D. Hanbay, M. Karabatak, "Beyin Bilgisayar Arayüzleri İçin Türkçe Metinden Konuşma Sentezleme Sistemi", *Elektr.ve Bilgi. Sempozyumu 2011*, 273–276, 2011.
- [50] İnternet: Common Voice Mozilla, <https://commonvoice.mozilla.org/tr/datasets>, 05.04.2023.
- [51] J. Kim vd., "Glow-TTS: A Generative Flow for Text-to-Speech via Monotonic Alignment Search", *ArXiv*, abs/2005.11129, 2020.
- [52] A. Hines vd., "ViSQOL: an objective speech quality model", *Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 2015(13), 2015.
- [53] C. Sloan vd., "A. Objective assessment of perceptual audio quality using ViSQOLAudio", *IEEE Trans. Broadcast*, 63, 693-705, 2017.
- [54] X. Tan vd., "NaturalSpeech: End-to-End Text to Speech Synthesis with Human-Level Quality", *ArXiv*, abs/2205.04421, 2022.